

University of Groningen

## Proeven over geluidsproductie in de menselijke larynx

Sien, Tan Tjie

**IMPORTANT NOTE:** You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

*Document Version*

Publisher's PDF, also known as Version of record

*Publication date:*

1960

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

*Citation for published version (APA):*

Sien, T. T. (1960). *Proeven over geluidsproductie in de menselijke larynx*. [, Rijksuniversiteit Groningen]. [S.n.].

### Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

### Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

**PROEVEN OVER GELUIDSPRODUCTIE  
IN DE MENSELIJKE LARYNX**

**TAN TJIE SIEN**

PROEVEN OVER GELUIDSPRODUCTIE  
IN DE MENSELIJKE LARYNX



RIJKSUNIVERSITEIT TE GRONINGEN

# PROEVEN OVER GELUIDSPRODUCTIE IN DE MENSELIJKE LARYNX

## PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DE GRAAD VAN DOCTOR IN DE GENEESKUNDE  
AAN DE RIJKSUNIVERSITEIT TE GRONINGEN  
OP GEZAG VAN DE RECTOR MAGNIFICUS DR. P. J. BOUMAN,  
HOGLERAAR IN DE FACULTEIT DER RECHTSGELEERDHEID,  
IN HET OPENBAAR TE VERDEDIGEN OP WOENSDAG 16 MAART 1960  
DES NAMIDDAGS TE 4 UUR

DOOR

TAN TJIE SIEN  
GEBOREN TE BANDJERMASIN

DRUK: V.R.B., KLEINE DER A 3-4 - GRONINGEN

PROMOTOR: PROF. DR. EELCO HUIZINGA

## STELLINGEN

### I

Om tot vergelijkbare resultaten te komen bij het bedrijfs-onderzoek naar lawaaidoofheid, verdient het aanbeveling, meer uniforme onderzoeksmethoden te gebruiken.

### II

Het is noodzakelijk, dat in een Stralenbeveiligingsdienst, zoals aangegeven in artikel 32 van het Veiligheidsbesluit ioniserende stralen, behalve een arts ook een fysicus zitting heeft.

### III

Het "huisstof-allergeen" of één van de huisstof-allergenen is een laag moleculaire stof.

### IV

Men dient voorzichtig te zijn met het afleiden van de prognose, uit de histologische classificatie van het mamma-carcinoom.

### V

De behandeling van onychomycosis met het orale antimycoticum griseofulvine, dient te worden gecombineerd met verwijdering van de aangetaste nagels.

### VI

Het zuigend röntgen-contactglas is een verbetering van de röntgenologische diagnostiek van het oog.

the 1990s, the number of people in the UK with a mental health problem has increased by 50% (Mental Health Foundation 2000).

There is a growing awareness of the need to address the needs of people with mental health problems, and the importance of providing them with appropriate services. However, there is a significant gap between the current state of affairs and the needs of the population. This gap is due to a number of factors, including a lack of resources, a lack of training for health professionals, and a lack of awareness of the needs of people with mental health problems. This paper will discuss the current state of affairs in the UK, and the need for a new approach to mental health care.

The current state of affairs in the UK is characterized by a number of problems. First, there is a significant shortage of resources, particularly in the area of mental health care. This shortage is due to a number of factors, including a lack of funding, a lack of training for health professionals, and a lack of awareness of the needs of people with mental health problems.

Second, there is a lack of training for health professionals. This lack of training is due to a number of factors, including a lack of funding, a lack of training opportunities, and a lack of awareness of the needs of people with mental health problems. This lack of training results in health professionals who are not equipped to provide the best possible care for people with mental health problems.

Third, there is a lack of awareness of the needs of people with mental health problems. This lack of awareness is due to a number of factors, including a lack of funding, a lack of training for health professionals, and a lack of awareness of the needs of people with mental health problems. This lack of awareness results in health professionals who are not equipped to provide the best possible care for people with mental health problems.

The need for a new approach to mental health care is clear. This new approach must be based on a number of principles, including a commitment to the needs of people with mental health problems, a commitment to providing the best possible care, and a commitment to working in partnership with people with mental health problems. This new approach must also be based on a number of practical considerations, including a commitment to providing resources, a commitment to providing training for health professionals, and a commitment to raising awareness of the needs of people with mental health problems.

The new approach to mental health care must be based on a number of principles, including a commitment to the needs of people with mental health problems, a commitment to providing the best possible care, and a commitment to working in partnership with people with mental health problems. This new approach must also be based on a number of practical considerations, including a commitment to providing resources, a commitment to providing training for health professionals, and a commitment to raising awareness of the needs of people with mental health problems.

The new approach to mental health care must be based on a number of principles, including a commitment to the needs of people with mental health problems, a commitment to providing the best possible care, and a commitment to working in partnership with people with mental health problems. This new approach must also be based on a number of practical considerations, including a commitment to providing resources, a commitment to providing training for health professionals, and a commitment to raising awareness of the needs of people with mental health problems.

The new approach to mental health care must be based on a number of principles, including a commitment to the needs of people with mental health problems, a commitment to providing the best possible care, and a commitment to working in partnership with people with mental health problems. This new approach must also be based on a number of practical considerations, including a commitment to providing resources, a commitment to providing training for health professionals, and a commitment to raising awareness of the needs of people with mental health problems.

The new approach to mental health care must be based on a number of principles, including a commitment to the needs of people with mental health problems, a commitment to providing the best possible care, and a commitment to working in partnership with people with mental health problems. This new approach must also be based on a number of practical considerations, including a commitment to providing resources, a commitment to providing training for health professionals, and a commitment to raising awareness of the needs of people with mental health problems.

The new approach to mental health care must be based on a number of principles, including a commitment to the needs of people with mental health problems, a commitment to providing the best possible care, and a commitment to working in partnership with people with mental health problems. This new approach must also be based on a number of practical considerations, including a commitment to providing resources, a commitment to providing training for health professionals, and a commitment to raising awareness of the needs of people with mental health problems.



## VII

De overgang van midden- naar falsetregister hangt samen met de mate van rekbaarheid van het ligamentum vocale.

## VIII

De stemplooi met de grootste randspanning heeft de leiding bij de geluidsproductie.

STELLINGEN BEHORENDE BIJ  
TAN TJIE SIEN  
PROEVEN OVER GELUIDSPRODUCTIE  
IN DE MENSELIJKE LARYNX  
GRONINGEN 1960

*Aan de nagedachtenis van mijn moeder*  
*Aan mijn vader*

De onderzoekingen, die in dit proefschrift beschreven zijn, werden verricht in de afdeling Medische Fysica (Dr. Jw. van den Berg) van het Fysiologisch Laboratorium (Hoofd: Prof. Dr. R. Brinkman) van de Rijksuniversiteit te Groningen.

## VOORWOORD

Bij de voltooiing van dit proefschrift wil ik mijn dank betuigen aan U, Hoogleraren, Oud-Hoogleraren, Lectoren en Privaat-Docenten van de Medische Faculteit der Gemeentelijke Universiteit te Amsterdam voor het genoten onderricht.

Hooggeleerde HUIZINGA, hooggeachte Promotor, Uw veelzijdige kennis, Uw persoonlijkheid, Uw zeer grote technische vaardigheid dwingen grote bewondering af. Ik acht het een groot voorrecht, dat ik U mijn leermeester mag noemen. Voor Uw leiding en de vrijheid, die U mij toestond bij het bewerken van dit proefschrift, ben ik U zeer erkentelijk.

Hooggeleerde BRINKMAN, Uw zeer grote kennis, Uw ideeënrijkdom dwingen veel respect af. De productiviteit van het Fysiologisch Laboratorium is hier dan ook het natuurlijke gevolg van. Gaarne zou ik U willen danken voor de gastvrijheid, die ik genoten heb gedurende en ook na de tijd, dat ik op het Fysiologisch Laboratorium werkzaam was.

Hooggeleerde HUIZING, veel dank ben ik U verschuldigd voor hetgeen U voor mij hebt gedaan.

Zeergeleerde VAN DEN BERG, gedurende de tijd, dat ik met jou samen werkte, heb ik jou zeer grote kennis, jouw wetenschappelijke intuïtie en jouw zeer critische geest leren waarderen. Zonder jouw deskundige leiding zou dit proefschrift niet zijn tot stand gekomen. Ik dank jou voor alles wat jij voor mij hebt gedaan.

Geleerde BEETSTRA, ten allen tijde was jij bereid mij adviezen te geven. Mag ik jou hiervoor hartelijk danken.

Geleerde WACHTERS, gaarne zou ik jou willen danken voor de grote zorg, die jij aan de vervaardiging van de prachtige microfotos hebt besteed.

Mede-assistenten, gaarne zou ik jullie willen danken voor de medewerking tijdens het bewerken van dit proefschrift.

Geachte mejuffrouw MARTINI, zeer veel dank ben ik U verschuldigd voor de nauwgezette wijze waarop U dit proefschrift hebt getypt.

Geachte mejuffrouw DE GRUOT, ook U ben ik zeer erkentelijk voor het verzorgen van een deel van het typewerk.

Geachte mejuffrouw MEINERS, beste Yvonne, ik zou jou willen danken voor de grote steun die jij mij gaf en voor de hulp die jij ten allen tijde bereid was te verlenen.

Geachte mevrouw BRONDA, U ben ik erkentelijk voor het feit, dat U als proefpersoon hebt willen fungeren.

Geachte heer NIEMEIJER, heel veel medewerking hebt U verleend gedurende en ook na de tijd, dat ik op het Fysiologisch Laboratorium werkzaam was. Ik wil U dan ook hartelijk danken voor alles wat U voor mij hebt gedaan.

Geachte heer DE LEEUW, gaarne zou ik U willen danken voor

de zeer verzorgde wijze waarop U de tekeningen nebt gemaakt. Ook ben ik U zeer erkentelijk voor de vele andere diensten.

Geachte heer SCHUIMER, menigmaal hebt U mij geassisteerd tijdens de proeven. Ik ben U hiervoor dan ook zeer erkentelijk.

Geachte heer DE RUITER, U hebt mij vele diensten bewezen. Mag ik U hiervoor hartelijk danken.

De heren BUITENKAMP, RIJSKAMP, HOFMAN en MELCHIOR zou ik willen danken voor de vele diensten, die zij mij hebben bewezen.

Tenslotte gaat mijn dank uit naar de overige leden van het personeel van het Fysiologisch Laboratorium en naar allen, die op enigerlei wijze behulpzaam zijn geweest bij het tot stand komen van dit proefschrift.

In het bijzonder gaat mijn dank uit naar de heren VOLCKMANN en KUITERT voor hun grote hulpvaardigheid.

# INHOUD

I	INLEIDING	11
II	METHODIEK	15
	II. 0. Inleiding	15
	II. 1. Het voorbereiden van het preparaat	15
	II. 2. Het prepareren van de larynx	17
	II. 3. De proefopstelling	20
III	HET ONDERLINGE VERBAND TUSSEN FLOW, MEDIAANWAARTSE KRACHT, TREKKRACHT, SUBGLOTTISCHE DRUK EN FREQUENTIE	30
	III. 0. Inleiding	30
	III. 1. Uitvoering van de proeven	32
	III. 2. Resultaten	34
	III. 2. 1 Bespreking van de resultaten bij borst-, midden- en falsettonen	46
	III. 2. 2 Bespreking van resultaten, die alleen betrekking hebben op borsttonen	60
	III. 2. 3 Bespreking van de resultaten bij borst- en lagere middentonen	62
	III. 2. 4 Bespreking van de resultaten bij hogere midden- en falsettonen	71
	III. 3. Appendix	88
IV	HET VERBAND TUSSEN DE REGISTERS EN DE EIGENSCHAPPEN VAN HET LIGAMENTUM VOCALE. DE FUNCTIE VAN HET LIGAMENTUM VOCALE	100
	IV. 0. Inleiding	100
	IV. 1. De ligamentum vocale rekproef	102
	IV. 1. 1 Aanleiding tot de ligamentum vocale rekproeven	102
	IV. 1. 2 Methodiek van de ligamentum vocale rekproeven	102
	IV. 1. 3 Resultaten en conclusies	105
	IV. 1. 4 Het verloop van de ligamentum vocale rekcurve hangt samen met de aanwezigheid van collagene en elastische vezels	110
	IV. 1. 5 De functie van het ligamentum vocale	115
	IV. 1. 6 Het verband tussen ligamentum vocale rekcurven en B II trekkkracht-frequentie curven	117
	IV. 2. De stemplooi rekproef	122
	IV. 2. 1 Aanleiding tot de stemplooi rekproeven	122
	IV. 2. 2 Uitvoering van de stemplooi rekproef	122
	IV. 2. 3 Bespreking van de resultaten van enkele preparaten, waarbij stemplooi- en ligamentum vocale-rekproeven zijn uitgevoerd	124

	IV. 2. 4 Bespreking van de resultaten van de stemplooi rekproeven	128
	IV. 3. Samenvatting	130
V	STROBOSCOPIE VAN HET LARYNXPREPARAAT ONDER ZOVEEL MOGELIJK FYSIOLOGISCHE OMSTANDIGHEDEN	131
	V. 0. Inleiding	131
	V. 1. Resultaten en bespreking van een enkele bijzondere waarneming bij borst-, midden- en falsettonen	131
	V. 2. Resultaten en bespreking van de waarnemingen bij borsttonen	132
	V. 3. Resultaten en bespreking van de waarnemingen bij borst- en lagere middentonen	139
	V. 4. Resultaten en bespreking van de waarnemingen bij hogere midden- en falsettonen	145
	SAMENVATTING	147
	SUMMARY	153
	LITERATUUR	159



## HOOFDSTUK I.

### INLEIDING.

De eerste experimenten met menselijke larynxpreparaten werden op het cadaver verricht. Dit geschiedde in 1741 door FERREIN. Hij beschouwde de larynx als een apparaat met een paar vliezige tongen en hij toonde aan, dat de voortgebrachte tonen veranderen met lengte en spanning van deze "stembanden". Volgens FERREIN'S theorie zijn de trillingen van deze vliezige tongen essentieel voor de geluidsproductie. Later experimenteerde LISCOVIUS (1814) met soortgelijke preparaten.

In 1840 deed JOHANNES MÜLLER zeer waardevolle en scherpzinnig bedachte proeven met uitgesneden menselijke larynxpreparaten. Hij gaf hiervan een zeer nauwkeurige beschrijving. Door deze proeven werd de juistheid van FERREIN'S theorie bevestigd, dat trillingen van de stemplooien een zeer grote rol spelen bij de geluidsproductie. De proevenreeks van MÜLLER was echter niet volledig en hij kon natuurlijk geen rekening houden met moderne probleemstellingen. De belangrijkste conclusies van JOHANNES MÜLLER zijn de volgende:

1. "Die Bänder schwingen in ganzer Breite, auch die mit ihnen verbundenen Membranen und der Muskelus thyreo-arytenoideus".

2. "Bei der mittleren ruhigen Stellung des Schildknorpels und der cartilagenes arytenoideae, wenn die Stimmbänder weder gespannt noch gefaltet sind, hat der Kehlkopf die Disposition zu seinen leichtesten mittleren Brusttönen".

3. "Bei den Falsettönen schwingt bloss der innere oder Randtheil der Stimmbänder, sie hängen in Hinsicht der Höhe von der Spannung der Stimmbänder ab".

4. "Durch Veränderung der Spannung in gleicher Direction lassen sich die Töne am Kehlkopf ohngefähr im Umfang von zwei Octaven verändern, bei stärkere Spannung entstehen unangenehme, höhere pfeifende oder schreiende Töne.

5. "Bei gleicher Spannung der Stimmbänder lässt sich durch stärkeres Blasen der Ton bis fast zu einer Quinte und mehr in die Höhe treiben".

In 1909 deed GUTZMANN zijn bijzondere proeven met larynxpreparaten. Hij sneed het hoofd van een menselijk cadaver met een frontale snede af zodanig, dat de larynx en een deel van de trachea eraan bleven. De trachea werd aangesloten op een luchtbuis (windbuis). Door passief bewegen van de lippen kon hij bepaalde medeklinkers (m, w) en bepaalde klinkers (u, a) opwekken (nabootsen). Het viel hem op, dat deze "Leichenstimme" zo sterk overeenkomt met de stem van de levende. Hij kwam tot de conclusie, "dass das eigentlich Menschenähnliche in der Stimme durch die Einwirkung des An-

satzrohres zustande kommt". TREDELENBURG en WULLSTEIN gebruikten in 1935 larynxpreparaten van de mens en het kalf (dat geen valse stemplooien bezit). Zij registreerden gelijktijdig het geproduceerde geluid en de grootste dwarse afmeting van de stemspleet met behulp van de "Schattenschriftmethode". (Met behulp van een microscoop verkregen zij een puntvormige lichtbron onder het niveau van de stemspleet; boven de stemspleet bevindt zich een bewegende lichtgevoelige strook). In 1938 gebruikte HARTMANN larynxpreparaten van de mens en het kalf. Met de "Schattenschriftmethode" bestudeerde hij gelijktijdig de zijwaartse en de opwaartse beweging van de stemplooien. De uitslagen in beide richtingen bleken bij de falsettonen minder te zijn dan bij borst- en mid-dentonen.

DUNKER en SCHLOSSHAUER experimenteerden in 1958 met larynxpreparaten van honden en toonden aan, dat door verandering van de lengtespanning van de stemplooien verschillende bewegingsvormen van de stemplooien ontstaan.

In de volgende hoofdstukken zullen wij trachten een uitvoerig overzicht te geven van onze experimenten. Wij hebben het grote voordeel te beschikken over moderne apparatuur (delta f-generator, stroboscoop etc.).

Gezien het grote belang van nauwkeurige kennis van de functie van de larynx tijdens het leven, hebben wij ons de volgende vragen gesteld: onder welke fysiologische omstandigheden worden de borst-, midden- en falsettonen voortgebracht? Welke factoren zijn daarbij primair en welke secundair? Wat is het karakteristieke van het bewegingsmechanisme onder deze verschillende omstandigheden?

Het is onmogelijk volledige waarnemingen te doen bij een proefpersoon. Afgezien van de onhoudbare toestand voor de betreffende persoon zijn er te veel oncontroleerbare factoren. Wij komen hier nog nader op terug, als de voordelen, verbonden aan onze methode, worden behandeld.

De omstandigheden bij onze proeven komen de fysiologische omstandigheden in vele opzichten zeer nabij. De volgende factoren kunnen wij naar believen instellen en veranderen:

1. Flow, dit is de hoeveelheid lucht in  $\text{cm}^3$  per seconde, die wordt gebruikt voor het tot stand doen komen van de stemplooibewegingen. De aan het preparaat toegevoerde flow komt overeen met de luchtstroom uit de longen.
2. Mediaanwaartse kracht, die uitgeoefend wordt op de processus vocales (hiermee wordt de resultante van de contractie van de spieren, die aan de arytenoiden aangrijpen nagebootst, behalve die van de musculus thyreo-arytaenoideus internus).
3. Trekkracht, uit te oefenen aan de thyreoidhoek (dit komt overeen met contractie van de musculus cricothyreoideus).

Tijdens deze proeven kunnen de frequentie en de gemiddelde subglottische druk voortdurend worden afgelezen. Het blijkt

inderdaad mogelijk te zijn borst-, midden- en falsettonen te verkrijgen. Ook kan het bewegingspatroon zeer nauwkeurig en gedurende langere tijd worden bestudeerd. Wij zien bij stroboscopische waarneming, dat tijdens de geluidsproductie vooral de randen van de stemplooien bewegen (de amplituden zijn dus het grootst aan de randen van de stemplooien). Zo krijgen wij belangstelling voor de anatomie van de stemplooirand en wij vermoeden, dat het *ligamentum vocale* zeer belangrijk is voor de geluidsproductie. Dit kan alleen worden bevestigd door de eigenschappen van het *ligamentum vocale* te bestuderen.

Indien wij ons afvragen of het zin heeft met preparaten te werken om de larynx bij de levende in zijn functie te leren kennen, dan menen wij deze vraag bevestigend te kunnen beantwoorden op grond van de conclusies en de bespreking hiervan in de hoofdstukken III, IV en V. Is eenmaal vastgesteld, dat het larynxpreparaat zich bij deze proeven identiek gedraagt als in vivo, dan blijkt de bestudering van het preparaat enkele grote voordelen te hebben boven de waarneming aan een proefpersoon:

1. Het probleem van kokhalzen en ademnood speelt geen rol bij onze proeven. De luchttoevoer wordt mechanisch geregeld en een waarneming behoeft nooit voortijdig te worden onderbroken.
2. De nagebootste omstandigheden zijn zeer gemakkelijk constant te houden gedurende langere tijd (dit zou een proefpersoon onmogelijk presteren), waardoor zeer nauwkeurige bestudering van het bewegingsmechanisme van de stemplooien mogelijk is.
3. Het is mogelijk slechts één factor tegelijk te veranderen, terwijl de andere factoren constant worden gehouden. De verschillende factoren kunnen alle exact worden gemeten.
4. De ervaring leert, dat met een larynxpreparaat meer tonen kunnen worden geproduceerd dan in de regel kan worden voortgebracht door de levende mens. Zo worden bijvoorbeeld aan het preparaat als regel hogere falsettonen verkregen dan men van de levende mag verwachten.

Er is echter een groot nadeel verbonden aan het experimenteren met preparaten. De contractie van de *musculus thyroarytaenoideus internus* (*musculus vocalis*) is niet na te bootsen. De situaties, waarbij deze spier gecontraheerd is, zijn dus niet bestudeerd. Het was evenwel mogelijk het effect van deze contractie te benaderen door het thyreoid dwars samen te drukken. De functie van de andere inwendige larynxspieren is echter wel degelijk bij onze proeven nagebootst.

In hoofdstuk II zal de wijze van prepareren en de proefopstelling worden besproken. Hoofdstuk III handelt over het onderlinge verband tussen flow, mediaanwaartse kracht, trekkracht, subglottische druk en frequentie bij de verschillende registers.

In hoofdstuk IV wordt het verband nagegaan tussen de verschillende registers en de eigenschappen van het ligamentum vocale. De stroboscopische waarnemingen worden besproken in hoofdstuk V.

## HOOFDSTUK II.

### METHODIEK

#### II. 0. INLEIDING

In dit hoofdstuk zullen wij beschrijven, hoe de verse larynxpreparaten, die wij van het Pathologisch-Anatomisch Laboratorium krijgen, worden voorbereid, opdat stabiele zuivere tonen kunnen worden voortgebracht. Vervolgens zal worden beschreven hoe wij de larynx prepareren en het preparaat wordt aangebracht in een proefopstelling, waarbij flow, mediaanwaartse kracht en longitudinale trekkracht nauwkeurig te doseren en te variëren zijn. (Onder mediaanwaartse kracht verstaan wij de kracht, die mediaanwaarts uitgeoefend wordt op de processus vocales; met longitudinale trekkracht wordt bedoeld de kracht, die in de lengterichting van de stemplooien werkt). Ondertussen kan de gemiddelde subglottische druk continu worden afgelezen, terwijl de bewegingen van de stemplooien automatisch in een langzaam tempo te zien zijn.

#### II. 1. HET VOORBEREIDEN VAN HET PREPARAAT.

Van het Pathologisch-Anatomisch Laboratorium worden verse larynxpreparaten opgevraagd. De gegevens, die in verband met ons onderzoek van belang zouden kunnen zijn, worden ook opgevraagd, met name: sectienummer, sexe, leeftijd, pathologisch-anatomische diagnose en eventueel klinische gegevens, die van belang zouden kunnen zijn voor de interpretatie van de toonproductie tijdens onze proeven. Voorkeur wordt gegeven aan mannelijke larynxpreparaten; de grotere afmetingen maken de observatie van het bewegingsmechanisme van de stemplooien gemakkelijker.

Voordat het preparaat wordt gebruikt, is het nodig dit gedurende enige tijd in een hypotonische fysiologische zoutoplossing te dompelen. Het is gebleken, dat de beste resultaten kunnen worden verkregen door het preparaat 12-24 uur vóór de aanvang van de eerste proef en tussen de proevenreeksen door te dompelen in een  $3/4$  N fysiologische zoutoplossing ( $3/4 \times 0,9\%$  NaCl oplossing). Om autolyse zoveel mogelijk tegen te gaan wordt het geheel in een koelkast bewaard, waar een temperatuur heerst variërend tussen:  $+ 3^{\circ}\text{C}$  en  $+ 5^{\circ}\text{C}$ .

Het aldus behandelde preparaat kan uren achtereenvolgens voor een proevenreeks worden gebruikt, mits wij er tevens voor zorgen, dat het niet uitdroogt, gedurende de proeven. Dit bereiken wij door de lucht, die voor het aanblazen wordt gebruikt, te verzadigen met waterdamp. De geproduceerde tonen zijn zeer stabiel; het bewegingspatroon behorende bij een bepaalde toon, blijft zeer gelijkvormig. Daar autolyse zoveel mogelijk wordt tegengegaan, zou het preparaat zelfs gedurende enkele weken bruikbaar zijn.

Dat het preparaat vóór de eerste proef gedurende enige tijd in een *hypotonische* fysiologische zoutoplossing gedompeld moet blijven, hangt samen met de uitgedroogde toestand van het preparaat. De cadavers komen als regel in uitgedroogde toestand op het Pathologisch-Anatomisch Laboratorium en vaak gaan er weer minstens enkele uren overheen, voordat obductie wordt verricht. Hoewel de cadavers in lagere temperatuur worden bewaard, vindt ook nu nog uitdroging plaats, ook van de larynx en dus ook van de ware stemplooien. Het is ook mogelijk, dat in de tussentijd een herverdeling van extra- en intracellulair vocht plaats vindt. Istijdens het leven een 0,9% NaCl-oplossing juist isotonisch, na de dood wordt isotoniekennelijk bereikt bij een NaCl-oplossing van lagere concentratie.

Dompelt men het larynxpreparaat gedurende enige tijd in een zoutoplossing met een osmotische waarde, die *lager* is dan  $3/4$  N, dan hoopt zich teveel vocht op in het submuqueuze weefsel; de geproduceerde tonen krijgen een min of meer "schor" karakter. De vochtophoping in het submuqueuze weefsel en het "schorre" karakter van de geproduceerde tonen zijn duidelijker uitgesproken, naarmate de osmotische waarde van de zoutoplossing lager is.

De osmotische waarde van speeksel is variabel en bedraagt ongeveer  $1/3$  N. Het blijkt, dat deze osmotische waarde ongeschikt is voor de voorbereiding van onze preparaten, daar men dan zijn doel te snel voorbijschiet en het vochtgehalte van het bindweefsel van de stemplooien na 12 - 24 uur te groot is. Het preparaat wordt dan zeer "schor" en er kunnen alleen lage tonen worden geproduceerd.

Dompelt men het larynxpreparaat gedurende enige uren in een zoutoplossing met een osmotische waarde, die *hoger* is dan  $3/4$  N, dan wordt vocht aan het submuqueuze weefsel onttrokken. De geproduceerde tonen krijgen een "scherp" karakter en de toonpro-

ductie is onzuiver en onregelmatig. Naarmate de osmotische waarde van de zoutoplossing hoger is, droogt het preparaat meer uit (vooral duidelijk merkbaar aan het vochtgehalte van het submuqueuze weefsel). De toonproductie is nu onregelmatiger; de geproduceerde tonen hebben een duidelijker "scherp" karakter en zijn minder zuiver.

## II. 2.

### HET PREPAREREN VAN DE LARYNX.

Van het Pathologisch-Anatomisch Laboratorium krijgen wij meestal een preparaat bestaande uit larynx, een stuk trachea tot en met de bifurcatie en een stuk oesophagus, dit alles omgeven door weke delen. Na vrij prepareren van larynx en trachea wordt de trachea doorgeknijpt, zodat er een stuk trachea van  $5\frac{1}{2}$  cm aan het larynxpreparaat blijft.

Dit larynx-trachea preparaat moet nog enkele veranderingen ondergaan, voordat het aan het glazen T-stuk (zie beschrijving van de proefopstelling) wordt bevestigd:

a. Alles boven het niveau van de ware stemplooien wordt weggeknijpt, daar dit niet essentieel is voor de eigenlijke toonvorming, zoals bleek bij de voorbereidende proeven. Aan elke larynxhelft wordt dus verwijderd: de valse stemplooi, het bovenste deel van de ventriculus laryngis, het bovenste deel van de cartilago arytaenoidea. Automatisch worden dan mede verwijderd: het cartilago cuneiformis, de plica aryepiglottica en cartilago epiglottica. Bovendien wordt het bovenste deel van de thyreoidvleugel (lamina) weggeknijpt. Uiteraard moet van de thyreoidvleugel voldoende overblijven om aan de thyreoidhoek een teugelte kunnen aanleggen juist boven het niveau van de voorste aanhechting van de ware stemplooien. Nadat alles boven het niveau van de ware stemplooien is weggeknijpt, houdt men dus als essentiële delen van het preparaat over: de ware stemplooien en het onderste deel van de arytenoiden.

b. De musculi arytaenoidei (musculus arytaenoideus obliquus, musculus arytaenoideus transversus) worden verwijderd, met intact laten van het slijmvlies, dat zich bevindt aan de binnenzijde (voórzijde) van deze spieren en dat het lumen van de larynx aan de dorsale zijde begrenst, in het gebied tussen de dorsale vlakken van de cartilagines arytaenoideae. Bij intact laten van de musculi arytaenoidei valt het ons moeilijk de teugels van de arytenoiden op gelijke hoogte aan te leggen. Wij verwijderen daarom deze



spieren, opdat wij ons kunnen oriënteren aan de bovenrand van het ringkraakbeen. Het boven beschreven slijmvliesdeel moet men intact laten, daar anders wat lucht aan de dorsale zijde tussen de arytenoiden ontsnapt, zodat de afgelezen flow-waarden onbetrouwbaar worden.

Om het meetrillen van dit slijmvliesdeel te voorkomen, legt men een vochtig wattenpropje tussen de verticale stang (waaraan het larynxpreparaat wordt bevestigd) en de dorsale vlakken van de cartilaginee arytaenoideae. Het meetrillen van dit slijmvliesdeel veroorzaakt namelijk een geruis, waardoor de aflezing en identificatie van de geproduceerde toon bemoeilijkt wordt.

c. Er wordt een teugel (linnen naaigaren No. 30) aangelegd aan de mediodorsale rand van elk van de arytenoiden. De teugel moet juist ter hoogte van de processus vocalis liggen, opdat bij spannen van beide arytenoidteugels de processus vocales geen standsverandering in verticale richting ondergaan. Een juist hechten van de teugels aan de arytenoiden veroorzaakt, na spannen van de teugels, dus geen niveauverandering van de stemplooien. De craniale vlakken van de stemplooien staan, na spannen van de teugels, op gelijk niveau. Legt men daarentegen één van de twee teugels hoger aan, dan zal gelijktijdig aanspannen van de beide teugels ten gevolge hebben, dat de processus vocalis van het arytenoid met de hoogste teugel hoger komt te liggen dan die van het andere arytenoid. Niveauverschil van de stemplooien en niet-normale geluidsproductie zullen het gevolg zijn. De arytenoidteugels doorboren het slijmvliesdeel, dat gelegen is tussen de dorsale vlakken van de arytenoiden en kruisen elkaar, voordat zij bevestigd worden aan de verticale staaf, waaraan ook het larynxpreparaat is bevestigd. Door het gekruiste verloop van de twee teugels bootst men de functie van de muscoli arytaenoidei na.

Bij volkomen symmetrische preparaten (waarbij onder andere de processus vocales precies evenver naar voren reiken), blijken de arytenoidteugels niet beslist noodzakelijk te zijn.

d. Opdat de trekkracht, uitgeoefendaande thyreoïdhoek zoveel mogelijk uitsluitend op de stemplooien inwerkt, worden de verbindingen tussen schildkraakbeen (cartilago thyreoidea) en ringkraakbeen (cartilago cricoidea) doorbroken.

1. De versterkingsbanden van het articulatio crico-



thyreoidea (ligamenta ceratocricoidea anterius, -laterale, - posterius) worden weggeknipt, zodat de gewrichtsvlakken, gelegen aan de binnenzijde van de cornu inferius van het thyreoid en aan de laterodorsale zijde van het cricoid, los van elkaar beweeglijk zijn.

2. Doorgeknipt wordt ook de musculus cricothyreoideus (zowel pars recta als pars obliqua).

3. Eveneens wordt doorgeknipt het ligamentum cricothyroideum medium.

Er moet uiteraard voor worden gezorgd, dat bij de pogingen om de verbindingen tussen schild- en ringkraakbeen op te heffen, men niet terecht komt in het larynxlumen. Het preparaat wordt hierdoor onbruikbaar.

e. Er wordt een teugel bevestigd aan de thyreoidhoek, op enkele mm afstand boven het niveau van de voorste aanhechting van de ware stemplooien. Het is aan te raden deze teugel niet al te dicht bij de voorste aanhechting van de ware stemplooien aan te leggen, daar anders het bewegingspatroon van de stemplooien wordt verstoord. De teugel dient om in voor- achterwaartse richting trekkracht te kunnen uitoefenen op de stemplooien, opdat hiermee de spanning en lengte van de stemplooiranden kan worden gevarieerd. Deze longitudinale trekkracht bootst de functie van de musculus cricothyreoideus na; immers contractie van deze spier verhoogt de spanning in de stemplooi, hetgeen - zoals later zal blijken - vooral neerkomt op verhoging van de spanning van het ligamentum vocale.

Voordat wij met de proef kunnen beginnen, moeten wij nog het volgende doen: (fig. 1).

1. Het preparaat wordt aan een glazen T-stuk bevestigd.

2. Het larynxpreparaat wordt bevestigd aan een verticale stang door middel van 2 koperen draden, die door de achterwand van het ringkraakbeen gaan. Om afglijden van het preparaat te voorkomen is het aan te raden de metalen stang met rubber te omhullen (stuk rubber slang).

3. De draad van de teugel, die aan de thyreoidhoek bevestigd is, loopt over een katrol naar beneden. Door middel van een veerbalans en een fijnregelapparaat is het mogelijk de uitgeoefende trekkracht zeer nauwkeurig te variëren en deze bovendien op elke gewenste grootte te fixeren (op de veerbalans kunnen krachten variërend tussen 0 en 300 gram worden afgelezen).

4. Het apparaat om mediaanwaartse kracht uit te oefenen op de processus vocales wordt zo aangebracht, dat de uiteinden van de benen tegen de laterale zijden van de processus vocales drukken.

5. Nadat het aanvoersysteem is aangesloten op het glazen T-stuk (waarop het preparaat is gemonteerd) en nadat de watermanometer voor de meting van de subglottische druk is aangesloten, kan de proef beginnen

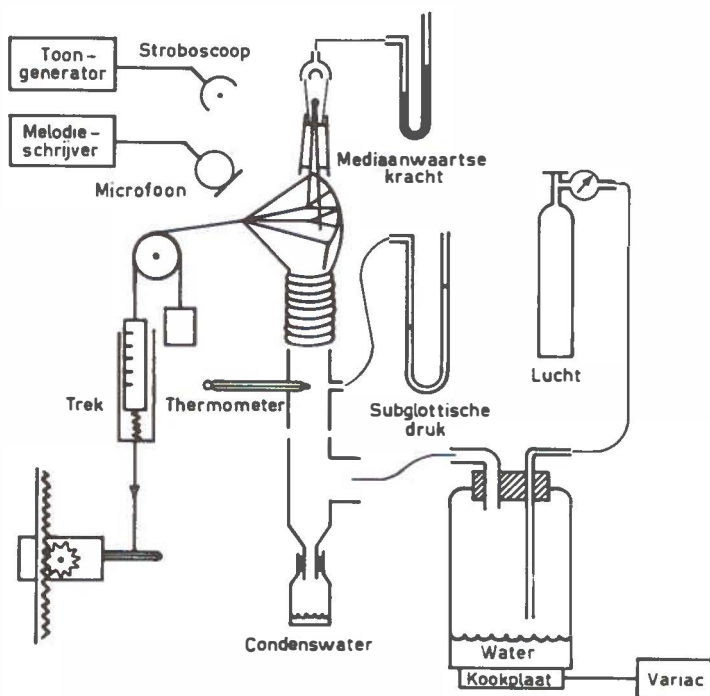


Fig. 1. Proefopstelling (schematisch).

## II. 3. DE PROEFOPSTELLING (fig. 1).

Er moet een proefopstelling worden ontworpen, waarbij het larynxpreparaat in een bepaalde stand wordt gefixeerd; vooral de stand van de arytenoiden is zeer belangrijk.

Om de functie van de adductoren na te bootsen, is het nodig de processus vocales van de arytenoiden meer of minder stijf op elkaar te drukken.

Om de functie van de musculus cricothyreoideus na te bootsen moet de spanning en eventueel de lengte van de stemplooiën gevarieerd kunnen worden.

### *Overwegingen bij het ontwerpen van de proefopstelling.*

Bij de proefopstelling (fig. 1) moet aan de volgende voorwaarden zijn voldaan:

1. De grootte van de flow moet voortdurend kunnen worden afgelezen en moet variabel zijn.
2. De gemiddelde subglottische druk moet continu zijn af te lezen.
3. De mediaanwaartse kracht, uitgeoefend op de processi vocales, moet nauwkeurig te doseren zijn en met dezelfde sterkte lange tijd worden uitgeoefend.
4. De op de thyreoidhoek uitgeoefende trekkracht moet nauwkeurig te doseren zijn en eveneens lange tijd op hetzelfde niveau gehandhaafd kunnen worden.
5. Om de fysiologische omstandigheden na te bootsen moet de doorgeblazen lucht steeds verzadigd zijn met waterdamp en een temperatuur hebben van ongeveer  $37^{\circ}\text{C}$ .
6. Ophoping van condenswater in het aanvoersysteem moet worden voorkomen. Het condenswater veroorzaakt namelijk allerlei bij-geluiden.
7. De hoogte en eventueel de sterkte van een geproduceerde toon moet afleesbaar zijn.
8. Het bewegingspatroon van de stemplooien moet op elk willekeurig moment kunnen worden waargenomen.

Ad 1. De flow moet afleesbaar en variabel zijn. Er wordt een reduceerventiel aan de luchtcylinder geschakeld. Op twee manometers is de druk in de cilinder, respectievelijk de uitstroomdruk, af te lezen. De luchtstroom wordt constant gehouden met behulp van een uitstroomcapillair, waarvan de weerstand zeer groot is ten opzichte van die, welke de larynx uitoefent (de uitstroomdruk bedraagt enkele atmosferen, terwijl de subglottische druk niet groter wordt dan ongeveer 50 cm water = 0,05 atmosfeer).

Om het verband tussen uitstroomdruk (atm) en flow ( $\text{cm}^3/\text{sec}$ ) te weten te komen moet de combinatie van reduceerventielen uitstroomcapillair worden geijkt.

*Ijken van de combinatie van reduceerventiel en uitstroomcapillair.*

Bij een uitstroomdruk van 1, 2, 3, 4, .... 11 atm wordt de tijd gemeten, die nodig is om een volume te krijgen van 5 liter (lucht van 1 atm druk). Men maakt gebruik van een spirometer. Nu kan de flow ( $\text{cm}^3/\text{sec}$ ) overeenkomend met 1, 2, 3, 4 .... 11 atm uitstroomdruk worden berekend.

De gevonden waarden worden in een grafiek uitgetzet (fig. 2); de drukwaarden (atm) op de horizontale

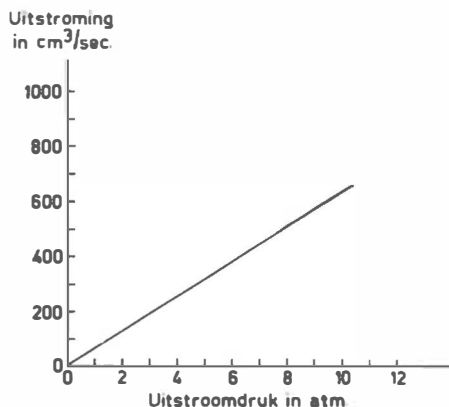


Fig. 2. Het verband tussen uitstroombdruk en uitstroming (flow) blijkt nagenoeg lineair te zijn.

as, de flowwaarden ( $\text{cm}^3/\text{sec}$ ) op de verticale as. Het verband tussen uitstroombdruk en uitstroming (flow) blijkt nagenoeg lineair te zijn. Men kan nu de uitstroombdruk op de gewenste waarde brengen en de overeenkomstige flow-waarde aflezen.

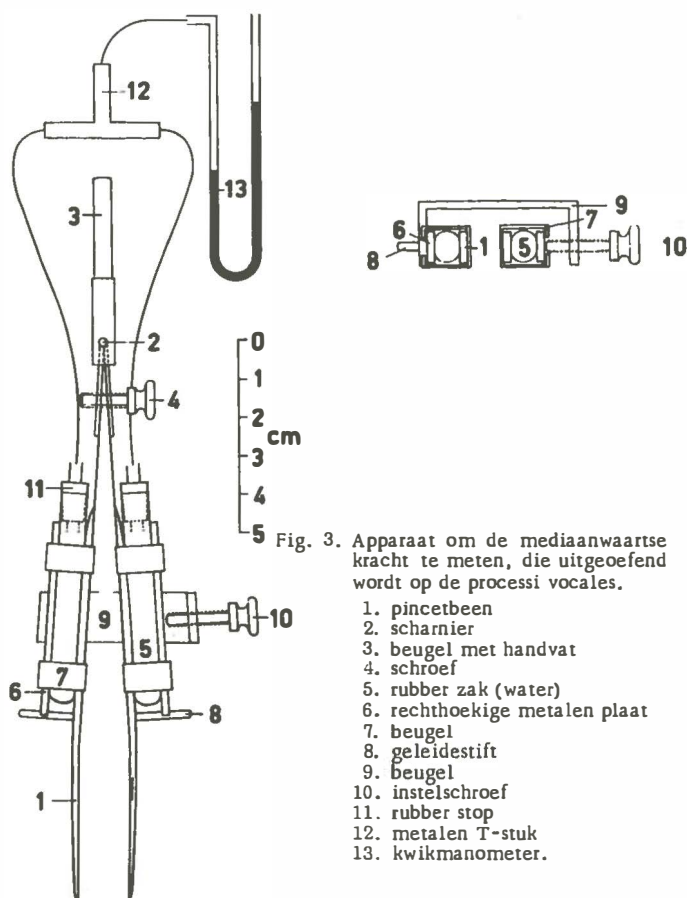
Ad 2. Opdat de gemiddelde subglottische druk op elk willekeurig moment af te lezen is, wordt een glazen T-stuk geconstrueerd, bestaande uit een verticale wijdere buis, terwijl op middenhoogte een nauwere buis horizontaal aftakt. Op het ene uiteinde van de wijdere buis wordt de trachea gemonteerd; het andere uiteinde wordt aangesloten op het aanvoersysteem. De nauwe buis wordt aangesloten op een watermanometer, waarop subglottische drukwaarden tot 100 cm  $\text{H}_2\text{O}$  kunnen worden afgelezen.

Ad 3. De mediaanwaartse kracht, uitgeoefend op beide processus vocales moet nauwkeurig worden gedoseerd en moet constant gehouden kunnen worden. Hiertoe wordt een apparaat geconstrueerd (fig. 3). Het apparaat is volgens de werkelijke verhoudingen getekend, zowel van voren als van boven gezien. De kwikmanometer en het buizenstelsel zijn niet op maat getekend. De drukoverdracht geschiedt door middel van water. De binnendiameter van de manometerbuis bedraagt 3,0 mm.

*Beschrijving van het apparaat (fig. 3).*

De twee benen (1) van een anatomisch pincet worden van elkaar losgemaakt door afzagen van het verbindingsstuk. Deze twee pincetbenen worden weer met

elkaar verbonden door middel van een scharnier (2) en het scharnier wordt gevat in een metalen beugel met handvat (3). De onderlinge stand van de twee pincetbenen zou men eventueel kunnen fixeren door middel van een schroef (4). De druk in de (met water gevulde) rubber zak (5) kan worden gevarieerd door de rechthoekige metalen plaat (6) meer of minder mediaanwaarts te drukken. De rechthoekige metalen plaat ligt volkomen los. Men voorkomt dat de rechthoekige plaat buitenwaarts valt door aan elk pincetbeen twee plaatkoperen beugels (7) te bevestigen. Deze beugels zijn bevestigd tegen de binnenzijde van de pincetbenen. Een geleidestift (8) dient om de rechthoekige metalen plaat tegen te houden en te geleiden; deze geleidestift is aan het pincetbeen beves-



tigd. De rechthoekige metalen plaat rust met een inkeping op de metalen geleidestift.

Men zou de metalen plaat met de vingers binnenwaarts kunnen drukken; voor de fijnregeling van deze beweging is echter een beugel (9) geconstrueerd, die aan de buitenzijde van de linker rechthoekige plaat bevestigd is. Door aan een instelschroef (10) te draaien is de druk in de rubber zak en dus de binnenwaartse kracht uitgeoefend op de processsi vocales nauwkeurig te regelen. De rubber zak is afgesloten door een rubber stop (11), waardoor een metalen buisje steekt. De druk in de rubber zakken wordt via een metalen T-stuk (12) overgebracht op een kwikmanometer (binnendiameter van de manometerbuis bedraagt 3,0 mm).

Opdat de drukverandering in de rubber zakken een aanzienlijke waarde kan bereiken, moeten wij er op uit zijn de binnendiameter van de manometerbuis, van het metalen T-stuk en van de rubber buizen zo klein mogelijk te houden. Ook de lengte van het buizenstelsel moet zo kort mogelijk zijn. Uiteraard kunnen wij een minimale maat voor de binnendiameter niet overschrijden, daar anders capillairwerking optreedt. De drukoverdracht wordt bevorderd door de rubber zakken en het buizenstelsel met water te vullen.

Tijdens het ijken van het apparaat (zie onder) blijkt, dat de laagste drukwaarden worden verkregen als zowel aan de linker als rechter kant de rechthoekige platen zodanig binnenwaarts worden gedrukt, dat de rechthoekige platen parallel blijven staan ten opzichte van de overeenkomstige pincetbenen. Om deze parallelle stand van de metalen platen te bereiken is het dus nodig de beugel (9) door middel van een touwtje aan een horizontale stang verschuifbaar op te hangen. Met hetzelfde doel wordt in het midden aan de buitenzijde van de rechter metalen plaat een kuiltje geboord, waarin de punt van de schroef (10) precies past.

Met behulp van dit apparaat is het mogelijk de mediaanwaartse krachten, uitgeoefend op de processsi vocales, op elk willekeurig moment nauwkeurig in te stellen en af te lezen; deze druk kan met minimale waarden worden gevarieerd. Immers de afgelezen druk heerst op elk punt in dit gesloten systeem van twee rubber zakjes en het buizenstelsel. Tijdens een proef geschiedt de aflezing van de uitgeoefende mediaanwaartse kracht in mm kwik. Om deze kracht in grammen te kunnen uitdrukken moet het apparaat geijkt worden.

*Ijking van het apparaat (fig. 4)*

Het apparaat wordt geijkt, voordat de beugel (9) is aangebracht. Het apparaat wordt zodanig geïnstalleerd, dat pincetbenen en bijbehorende rechthoekige plaat horizontaal liggen. De belasting van 100, 200,

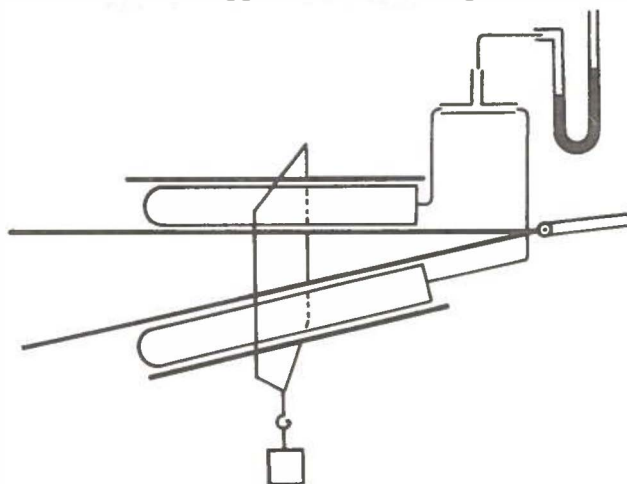


Fig. 4. Methode van het apparaat (fig. 3) te ijken.

300 etc. gram moet aangrijpen op het midden van de plaat. Dit bereikt men door gebruik te maken van een (zeer lichte) beugel, waaraan gewichten kunnen worden opgehangen. De stand van de kwikkolom bij de onbelaste beugel neemt men als nul-waarde aan. Bij een belasting van 100, 200, 300 ..... 1000 gram wordt de overeenkomstige uitslag afgelezen in mm Hg. De reeks metingen wordt uitgevoerd bij beide pincetbenen en men neemt de gemiddelde waarden als uitkomst aan.

Veronderstel dat de gemiddelde binnenwaartse kracht  $p$  g. bedraagt en dat deze kracht op beide pincetbenen aangrijpt op een punt, dat  $a$  cm van de scharnier gelegen is. Als de afstand van scharnier tot de uiteinden van de pincetbenen  $b$  cm is, bedraagt de binnenwaartse kracht aan de pincet uiteinden  $\frac{a}{b} \times p$  g. De omrekenfactor is steeds gelijk  $(\frac{a}{b})$ . Daarom hebben wij bij onze proeven voor de mediaanwaartse kracht steeds kunnen volstaan met de waarden, die op de kwikmanometer worden afgelezen.

Tijdens het ijken van het apparaat vallen enkele bijzondere effecten op.

1. Voor elke belasting geldt, dat men relatief de laagste uitslag op de kwikmanometer krijgt, als de

rechthoekige platen parallel staan aan de onderlaag. 2. Maakt de metalen plaat een hoek ten opzichte van de onderlaag (pincetbeen), dan krijgt men relatief hogere drukwaarden. Het blijkt, dat de drukwaarden relatief hoger zijn, naarmate de metalen plaat meer helt ten opzichte van de onderlaag. Als de metalen plaat zo sterk helt, dat een van de uiteinden op de onderlaag komt te rusten, zullen de afgelezen waarden uiteraard onbetrouwbaar zijn.

Op de horizontale as van de ijkcurve (fig. 5) is de belasting in grammen uitgezet; op de verticale as de uitslag op de kwikmanometer in mm. De tijdens een proef afgelezen waarden in mm Hg kunnen nu dus in grammen worden uitgedrukt.

Ad 4. Op de thyreoidhoek wordt dus een trekkracht uitgeoefend zodanig, dat de richting van de kracht in het verlengde loopt van de mediocraniale rand van de stemplooien. Door deze trekkracht te variëren zal de spanning in de rand van de stemplooien (vooral be-

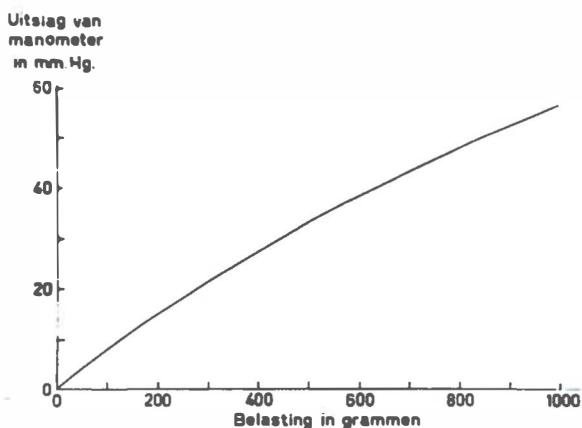


Fig. 5. IJkcurve van het apparaat, waarmee mediaanwaartse kracht op de processu vocales wordt uitgeoefend.

paald door de spanning in het ligamentum vocale) - en hiermee de hoogte van de geproduceerde toon - veranderen. De uitgeoefende trekkracht moet nauwkeurig te doseren en op elke gewenste grootte te fixeren zijn.

Om aan het bovenstaande te voldoen laten wij de teugel (die aan de thyreoidhoek bevestigd is op enkele mm afstand boven de voorste aanhechting van de stemplooien) zodanig aflopen, dat hij een hoek van ongeveer 15 graden maakt met het horizontale vlak.



(Het is namelijk gebleken, dat als men een larynx-preparaat verticaal opstelt, het craniale oppervlak van de stemplooien naar voren toe licht omlaag helt; het maakt een hoek van ongeveer 15 graden met het horizontale vlak).

De teugel wordt over een katrol geslagen en de trekkracht kan worden gevarieerd door aan een schroef te draaien van een fijnregelapparaat, dat als essentiële onderdelen een tandrad en tandheugel bevat.

Tussen de katrol en het fijnregelapparaat wordt een geijkte veerbalans geschakeld. (De veerbalans is geijkt voor krachten variërend tussen 0 en 300 gram). Het gewicht van de veerbalans wordt door een tegengewicht (120 g) opgeheven. De grootte van de trekkracht is dus op elk willekeurig moment af te lezen in grammen. De geijkte veerbalans (fig. 1) bestaat uit een gecalibreerde holle metalen cilindrische kern; om deze kern schuift een metalen mantel vrij van de kern. Tussen de bodem van de kern en de bodem van de mantel is een veer uitgespannen. De kracht grijpt aan op de bodem van de mantel.

Ad 5. Om de fysiologische omstandigheden na te bootsen moet de doorgeblazen lucht steeds verzadigd zijn met waterdamp en een temperatuur hebben van ongeveer 37°C. De verzadiging met waterdamp blijkt nodig, daar anders het slijmvliesoppervlak van het preparaat uitdroogt en de kwaliteit van de geproduceerde tonen minder wordt. (In enkele gevallen wordt helemaal geentoon meer geproduceerd). Hiervoor wordt de uit de cylinder ontsnappende droge lucht geleid door een groot cilindrisch metalen vat (inhoud: 65.7 liter), waarin zich een laag water bevindt (1 tot 1½ liter). Dit water wordt op temperatuur gebracht met behulp van een kookplaat; de temperatuur van de kookplaat is te regelen door middel van een variac.

Door de rubberstop van het grote cilindrische metalen vat steken een lange nauwe glazen buis (binnendiameter: 5 mm) en een korte wijde glazen buis (binnendiameter: 20 mm). De lucht wordt aangevoerd via de lange nauwe buis, die tot enkele centimeters boven het wateroppervlak reikt. De lucht wordt afgevoerd via de wijdere buis.

Men moet ervoor zorgen, dat het uiteinde van de nauwe buis niet in het water steekt. Het onvermijdelijke geborrel zal dan moeilijkheden geven bij de aflezing van de geproduceerde tonen, vooral als deze van lage intensiteit zijn. Bovendien zou deze toestand

de toonproductie storen, doordat de luchtstroom niet continu de stemspleet passeert (m. a. w. doordat de flow voortdurend veranderingen ondergaat).

Bij onze proefopstelling blijkt, 2 uur na inschakelen van de stroom bij kamertemperatuur van 22°C, bij een bepaalde variacstand (105 V) een bepaald verband te bestaan tussen de grootte van de uitstroming en de temperatuur van de voorbijstromende lucht ter hoogte van het larynxpreparaat. Bij een uitstroomdruk van respectievelijk 6, 5, 4, 3, 2, 1 atm, dus bij een flow van respectievelijk 380, 315, 250, 190, 125, 65 cm<sup>3</sup>/sec, blijkt de temperatuur respectievelijk 43, 42, 41, 40, 38½, 36 graad Celcius te bedragen. De temperatuur daalt bij verminderen van de uitstroming, daar het traject tussen het grote vat en de plaats van meting in langere tijd wordt doorlopen en de afkoeling dus groter is.

Ad 6. Allerlei bijgeluiden worden veroorzaakt door ophoping van condenswater in het aanvoersysteem, vooral als de luchtsnelheid ter plaatse van de vocht-ophoping groot is. Om dit euvel tegen te gaan wordt het buizenstelsel (glazen en rubber buizen) zo kort en zo wijd mogelijk gehouden. Bovendien maken wij gebruik van een glazen T-stuk van bijzondere vorm (fig. 1). De uitlopers van dit glazen T-stuk zijn weer zo wijd mogelijk gehouden; slechts de verticaal omhooggaande buis loopt nauw toe. Het condenswater druipt via deze nauw toelopende buis in een flesje af en zal de toonproductie niet hinderen, daar het zich buiten de luchtstroom bevindt.

De temperatuur van de met waterdamp verzadigde lucht is af te lezen op de thermometer, die zich juist onder de trachea bevindt (fig. 1).

Ad 7. De hoogte van de geproduceerde toon moet op elk willekeurig moment afleesbaar zijn. Dit bereikt men door gebruik te maken van microfoon en/of melodischrijver.

Ad 8. Het bewegingspatroon van de stemplooien kan worden bestudeerd met behulp van toongenerator en stroboscoop. Het is hierbij niet beslist nodig om een deltaf-generator te gebruiken, daar de geproduceerde tonen gedurende tientallen minuten zeer constant zijn. Dit is eveneens het geval met het bewegingspatroon van de stemplooien.

Met behulp van de delta f-generator, ontworpen door VAN DEN BERG, ziet men de stemplooibewegingen automatisch in een langzaam tempo, onafhankelijk van de werkelijke toonhoogte. Wij gebruiken bij onze

proeven steeds een delta f-generator, omdat de instelling daardoor veel eenvoudiger wordt, vooral wanneer de toonhoogte continu verandert, zoals bijvoorbeeld het geval is bij geleidelijk opvoeren van de flow, mediaanwaartse kracht of trekkracht.

## HOOFDSTUK III.

### HET ONDERLINGE VERBAND TUSSEN FLOW, MEDIAANWAARTSE KRACHT, TREKKRACHT, SUBGLOTTISCHE DRUK EN FREQUENTIE.

#### III. 0. INLEIDING.

De aanleiding tot deze proeven is de veronderstelling, dat een betere kennis van het onderlinge verband tussen de vijf genoemde grootheden niet alleen theoretisch, maar ook praktisch van belang is, in het bijzonder voor de interpretatie van pathologische stemvorming.

De flow, mediaanwaartse kracht, trekkracht, subglottische druk en frequentie kunnen worden ingesteld, respectievelijk worden afgelezen met de methode, die in hoofdstuk II is aangegeven.

Om na te gaan of de toonvorming door het preparaat vergelijkbaar is met die tijdens het leven, onder overeenkomstige omstandigheden, is het nodig de overeenkomstige waarden van de genoemde grootheden met elkaar te vergelijken,

De bepaling van de flow ende frequentie tijdens het leven is niet moeilijk. De bepaling van de subglottische druk tijdens het leven is echter tamelijk lastig. De subglottische druk is gemeten bij patienten met een tracheostoma (in 1920 door GUTZMANN en LOEWY in 1925 door SCHILLING. Bovendien heeft VAN DEN BERG (1956) zich beziggehouden met directe en indirecte meting van de subglottische druk onder normale omstandigheden; hierbij fungeerde hij zelf als proefpersoon. Op directe wijze werd de subglottische druk bepaald door middel van een catheter, die door de stemspleet werd geschoven; op indirecte wijze met behulp van catheter plus ballon, die zich in de oesophagus bevond. Het is gebleken, dat de waarden gemeten door VAN DEN BERG praktisch evengroot waren als wij bij onze experimenten verkregen onder vergelijkbare omstandigheden. Deze resultaten werden in 1958 bevestigd door DRAPER c. s.

De proeven, waarbij het onderlinge verband tussen flow, mediaanwaartse kracht, trekkracht, subglottische druk en frequentie wordt nagegaan, hebben wij uitgevoerd met totaal 19 preparaten, 16 mannelijke en 3 vrouwelijke preparaten. Om de resultaten weer te geven kiezen wij enkele preparaten die representatief zijn, hetzij op grond van het algemeen gedrag,

hetzij door de mate van het niveauverschil tussen de stemplooien.

De preparaten kunnen op grond van het niveauverschil tussen de stemplooien ingedeeld worden in 3 soorten: preparaten zonder niveauverschil (16 preparaten, met gering niveauverschil (2 preparaten), en met groot niveauverschil (1 preparaat). Voor alle preparaten, ook voor het preparaat met groot niveauverschil, geldt het feit, dat het niveauverschil alleen is waar te nemen tijdens beweging van de stemplooien. In de rusttoestand lijken de stemplooien namelijk steeds evenhoog te staan.

De proeven zijn uit te voeren met 2 gekruiste arytenoidteugels of één gemeenschappelijke arytenoidhechting (hierbij worden de mediodorsale randen van de arytenoiden aan elkaar gehecht). Dit komt op hetzelfde neer. De tweede methode is echter technisch moeilijker, daar een eventueel niveauverschil niet meer gecorrigeerd kan worden. Onze proeven worden als regel uitgevoerd met 2 gekruiste arytenoidteugels. Bij volkomen symmetrische larynxen kunnen de teugels eventueel worden weggelaten.

De preparaten S 13153 en S 13088 zijn voorbeelden van de groeppreparaten, waarbij geen niveauverschil tussen de stemplooien te zien is. (De preparaten worden aangegeven met het sectienummer van het Pathologisch-Anatomisch Laboratorium). Preparaat S 13200 is representatief voor de preparaten met gering niveauverschil tussen de stemplooien, terwijl bij preparaat S 13310 het niveauverschil tussen de stemplooien groot is.

Uit praktisch oogpunt vermelden wij op deze plaats de gegevens van de preparaten, die wij in de loop van dit hoofdstuk veelvuldig nodig zullen hebben:

- Preparaat S 13153, ♂ 65 jaar:

Er is geen niveauverschil tussen de stemplooien. Wij gebruiken 2 gekruiste arytenoidteugels. De series A I en A II worden in één zitting afgewerkt. Na onderbreken van de proef en opnieuw instellen van de pincetuiteinden worden de series B I en B II in één zitting uitgevoerd.

- Preparaat S 13088, ♂ 61 jaar:

Er is geen niveauverschil tussen de stemplooien zichtbaar. De arytenoidteugels verlopen gekruist. De pincetpunten liggen niet onmiddellijk (lateraal) tegen de processus vocales aan. Bij dit preparaat gaat het ons om het bereiken van de hoogste tonen bij de verschillende flows.

- Preparaat S 13200, ♂ 66 jaar:

Het niveauverschil tussende stemplooien is gering. De arytenoidteugels verlopen gekruist.

- Preparaat S 13310, ♂ 72 jaar:

Het niveauverschil tussen de stemplooien is relatief groot. De arytenoidteugels verlopen gekruist. De series A I, A II, B I, B II worden in één zitting afgewerkt. De resultaten zijn dus onderling vergelijkbaar.

Onderde 34 preparaten, die wij voor de proeven van hoofdstuk III, IV en V hebben gebruikt, zien wij enkele *asymmetrische preparaten*

1. Bij preparaat S 13565, ♂ 70 jaar, reikt de linker processus vocalis verder naar voren dande rechter.

2. Preparaat S 13580, ♂ 66 jaar, vertoont een andere vorm van asymmetrie. Wij zien, dat de rechter helft van de larynx sterker ontwikkeld is dan de linker. Onder andere is de rechter thyreoidvleugel en de rechter helft van het cricoid sterker ontwikkeld. Hoewel de processus vocales bij dit preparaat even ver naar voren reiken, zijn de stemplooien niet evenlang.

3. Bij preparaat S 13454, ♂ 59 jaar, bestaat het linker ligamentum vocale uit 2 banden; het rechter ligamentum vocale is normaal.

4. Van preparaat S 13241, ♂ 64 jaar, is de linker stemplooi torpedovormig verdikt. De patholoog-anatoom stelde de diagnose: chronisch ontstekingsproces. De linker processus vocalis reikt meer naar voren dan de rechter. Het preparaat is "hees".

5. Ook de preparaten, waarbij uitsluitend tijdens geluidsproductie niveauverschil tussen de stemplooien zichtbaar is, kunnen wij rekenen tot deze groep asymmetrische preparaten.

### III. 1. UITVOERING VAN DE PROEVEN.

Er kunnen 4 series worden uitgevoerd: serie A I, A II, B I en B II.

Bij serie A wordt uitsluitend de flow veranderd.

1. serie A I: Hierbij worden *borst- en lagere mid-dentonen* geproduceerd. Bij een bepaalde mediaanwaartse kracht en trekkracht 0 g wordt de flow opgevoerd van 1 tot 6 atm (65 tot 380 cm<sup>3</sup>/sec). Hierbij worden sprongen gemaakt van  $\frac{1}{2}$  atm. Een enkele keer dalen wij met de flow van 6 tot 1 atm en maken dezelfde sprongen van  $\frac{1}{2}$  atm. De proef wordt gedaan bij telkens andere mediaanwaartse krachtwaarden en trekkracht 0 g. In bepaalde gevallen doen wij de proef ook bij de kleinste mediaanwaartse kracht, waarbij nog juist geluid wordt geproduceerd.

2. *Serie A II* Hierbij worden *hogere midden- en falsettonen* geproduceerd. Bij een bepaalde mediaanwaartse kracht en een bepaalde trekkracht wordt de flow opgevoerd van 1 tot 6 atm (65 tot 380 cm<sup>3</sup>/sec) met sprongen van telkens  $\frac{1}{2}$  atm. De proef wordt gedaan bij eenzelfde mediaanwaartse kracht, gecombineerd met telkens andere trekwaarden.

Bij *serie B* wordt de toonhoogte geleidelijk opgevoerd.

1. *Serie B I* : Hierbij worden *borst- en lagere mid-dentonen* geproduceerd. Het geleidelijk stijgen van de frequentie wordt nu bereikt door bij eenzelfde flow en trekkracht 0 g de mediaanwaartse kracht geleidelijk op te voeren van 0 tot 40 mm Hg (0 tot 630 g). De mediaanwaartse kracht wordt dus als volgt opgevoerd: 0-2-5-7-10-15-20-25-30-35-40 mm Hg.

2. *Serie B II* . Nu worden *hogere midden- en falsettonen* verkregen. De toonhoogte wordt geleidelijk opgevoerd door bij dezelfde flow als bij serie B I en matige mediaanwaartse kracht de trekkracht geleidelijk op te voeren van 0 tot 300 g. Voor matige mediaanwaartse kracht nemen wij vaak 10 mm Hg (127 g). De trekkracht wordt als volgt opgevoerd: 0-20-50-70-100-150-200-250-300 g.

Een enkele keer (bijv. prep. S 13088) gaat het ons om de *hoogst* bereikbare tonen bij de verschillende flows. De mediaanwaartse kracht, waarbij bij de B I proef nog juist de hoogste toon wordt bereikt, wordt gecombineerd met opvoeren van de trekkracht. Dit proces wordt herhaald bij de verschillende flows.

Zowel serie B I als serie B II worden uitgevoerd bij 1, 2, 3, 4, 5, 6 atm flow. Als regel doen wij bij eenzelfde flow *achter elkaar* de series B I en B II.

Als regel blijkt de mediaanwaartse kracht op te lopen bij opvoeren van de trekkracht. Dit verschijnsel hangt samen met het feit, dat de processie vocals steeds meer lateraalwaarts worden getrokken als wij de trekkracht opvoeren (verg. III. 3. 1.).

Tijdens de 4 series proeven wordt ook gelet op:

1. Kwaliteit, klankkleur, intensiteit en eventuele andere bijzonderheden van de geproduceerde tonen.
2. Plotselinge veranderingen in toonhoogte (toonsprongen).

Van een preparaat worden dus bij de geluidsproeven een groot aantal bepalingen gemaakt. De gevonden waarden kunnen in curve worden uitgezet.

Bij een A I proef, waarbij de flow wordt opgevoerd bij een bepaalde mediaanwaartse kracht en trek-

kracht = 0 g, worden achtereenvolgens uitgezet: de frequentie tegen de subglottische druk, de flow tegen de subglottische druk, de frequentie tegen de flow. De gevonden waarden worden op dezelfde wijze uitgezet bij een A II proef, waarbij de flow wordt opgevoerd bij een bepaalde combinatie van mediaanwaartse kracht en trekkracht.

Bij een B I proef, waarbij de mediaanwaartse kracht geleidelijk wordt opgevoerd bij een bepaalde flow en trekkracht = 0 g, worden achtereenvolgens uitgezet: de frequentie tegen de mediaanwaartse kracht, de subglottische druk tegen de mediaanwaartse kracht, de frequentie tegen de subglottische druk,

Bij een B II proef, waarbij de trekkracht geleidelijk wordt opgevoerd bij een bepaalde flow en matige mediaanwaartse kracht (als regel 10 mm Hg = 127 g), worden achtereenvolgens uitgezet: de frequentie tegen de trekkracht, de subglottische druk tegen de trekkracht, de frequentie tegen de subglottische druk.

In het vervolg zullen wijgebruik maken van de volgende afkortingen: flow (F1), mediaanwaartse kracht (Mwk), trekkracht (T), subglottische druk (Ps), frequentie (Fr.) Wij zullen van nu af aan ook spreken van bijvoorbeeld: S 13153 A I curven of S 13310 B II curven, waarbij het eerste getal betrekking heeft op het sectienummer van het Pathologisch-Anatomisch Laboratorium.

### III. 2. RESULTATEN.

Als voorbeelden volgen nu de resultaten van de 4 series proeven, uitgevoerd met preparaten S 13153 en S 13310. De bespreking van de resultaten volgt later.

I. Preparaat S 13153,  $\sigma$  65 jaar. (De gegevens van dit preparaat staan vermeld onder III. 0).

Serie A I bestaat uit 3 proeven:

Proef A I 1. bij Mwk 7 mm Hg (87 g) en T 0 g.

Proef A I 2. bij Mwk 15 mm Hg (197 g) en T 0 g.

Proef A I 3. bij Mwk 20 mm Hg (277 g) en T 0 g.

Serie A II bestaat uit 4 proeven:

Proef A II 1. bij Mwk 20 mm Hg (277 g) en T 80 g.

Proef A II 2. bij Mwk 20 mm Hg (277 g) en T 100 g.

Proef A II 3. bij Mwk 20 mm Hg (277 g) en T 130 g.

Proef A II 4. bij Mwk 20 mm Hg (277 g) en T 200 g.

Series B I en B II worden ook in éénzelfde zitting uitgevoerd. Bij serie B I wordt bij de verschillende flows de Mwk geleidelijk opgevoerd van 0 tot 40 mm Hg (732 g), terwijl de trekkracht 0 g blijft. Bij een



Tabel 1  
Resultaten van proef S 13153 A I 1 bij  
Mwk 7 mm Hg (87 g) en T 0 g.

	Fl		Ps	Fr
	atm	cm <sup>3</sup> /sec	cm H <sub>2</sub> O	Hz
1		65	6	74
1½		95	8½	85
2		125	10-	91
2½		160	11	96
3		190	12	104
3½		220	13	107
4		250	14½	114
4½		285	16-	117
5		315	16	120
5½		350	16	120
6		380	17	122

Tabel 2  
Resultaten van proef S 13153 A I 2 bij  
Mwk 15 mm Hg (197 g) en T 0 g.

	Fl		Ps	Fr
	atm	cm <sup>3</sup> /sec	cm H <sub>2</sub> O	Hz
1		65	6-	72
1½		95	8+	85
2		125	10	91
2½		160	11½	96
3		190	13	107
3½		220	14	110
4		250	15½	117
4½		285	17-	122
5		315	18	128
5½		350	19	136
6		380	19½	144

Tabel 3.  
Resultaten van proef S 13153 A I 3 bij  
Mwk 20 mm Hg (277 g) en T 0 g.

	Fl		Ps	Fr
	atm	cm <sup>3</sup> /sec	cm H <sub>2</sub> O	Hz
1		65	6	76
1½		95	9-	85
2		125	11-	93
2½		160	13+	107
3		190	14	110
3½		220	15½	117
4		250	16½	124
4½		285	18-	128
5		315	19	140
5½		350	21	148
6		380	22½	152

Tabel 4.  
Resultaten van proef S 13153 A II 1 bij  
Mwk 20 mm Hg (277 g) en T 80 g.

Fl atm	cm <sup>3</sup> /sec	Ps cm H <sub>2</sub> O	Fr Hz
1	65	9	373
1½	95	12	384
2	125	13	406
2½	160	19½	406
3	190	21+	406
3½	220	23-	416
4	250	25	406
4½	285	28	416
5	315	30	443
5½	350	32	451
6	380	34	459

Tabel 5  
Resultaten van proef S 13153 A II 2 bij  
Mwk 20 mm Hg (277 g) en T 100 g.

Fl atm	cm <sup>3</sup> /sec	Ps cm H <sub>2</sub> O	Fr Hz
1	65	10-	406
1½	95	17	373
2	125	21½	395
2½	160	25-	416
3	190	27½	427
3½	220	31	443
4	250	33	459
4½	285	36½	464
5	315	38-	464
5½	350	40½	480
6	380	42	488

Tabel 6  
Resultaten van proef S 13153 A II 3 bij  
Mwk 20 mm Hg (277 g) en T 130 g

Fl atm	cm <sup>3</sup> /sec	Ps cm H <sub>2</sub> O	Fr Hz
1	65	--	--
1½	95	14-	592
2	125	17	576
2½	160	21+	576
3	190	25	590
3½	220	28-	590
4	250	32	480
4½	285	36½	496
5	315	38½	512
5½	350	42-	544
6	380	43½	560

Tabel 7  
Resultaten van proef S 13153 A II 4 bij  
Mwk 20 mm Hg (277 g) en T 200 g.

Fl atm	cm <sup>3</sup> /sec	Ps cm H <sub>2</sub> O	Fr Hz
1	65	12½	464
1½	95	20½	480
2	125	33½	384
2½	160	37½	406
3	190	41	416
3½	220	44	427

Van flow 4 atm af (250 cm<sup>3</sup>/sec) is de frequentie niet meer zuiver af te lezen.

Tabel 8  
Resultaten van proef S 13153 B I 1 bij flow 1 atm (65 cm<sup>3</sup>/sec)

Mwk mm Hg	g	T g	Ps cm H <sub>2</sub> O	Fr Hz	Opmerking:
0	0	0	2½	114	fluweelachtige toon fluweelachtige toon grovere borsttoon
3	35	↓	3½	128	
8	100		9	85	
15	197		11-	91	
20	277		11½	93	
25	360		12	99	
30	442		13+	114	
35	530		14	117	
40	630		15	132	

Tabel 9  
Resultaten van proef S 13153 B II 1 bij flow 1 atm (65 cm<sup>3</sup>/sec)

Mwk mm Hg	g	T g	Ps cm H <sub>2</sub> O	Fr Hz	Opmerking:
10	127	0	10½	96	Bij T tussen 20 en 25 g treedt geen registerovergang op.
↓	↓	20	11-	99	
		50	15+	182	
		100	19	256	
		150	23-	320	
		200	26+	395	
		250	28-	406	
		300	28+	427	
					Mwk opgelopen tot 13 mm Hg (168 g).

Tabel 10  
Resultaten van proef S 13153 B I 2 bij flow 2 atm (125 cm<sup>3</sup>/sec)

Mwk mm Hg	g	T g	Ps cm H <sub>2</sub> O	Fr Hz	Opmerking:
0	0	0	3	--	Fr niet zuiver af te lezen fluweelachtige toon grovere borsttoon
2	22	↓	3½	144	
4	50		10	91	
7	87		13-	107	
10	127		15-	114	
15	197		16	120	
20	277		18-	132	
25	360		19	140	
30	442		21+	152	
35	530		23-	156	
40	630		23+	160	

Tabel 11  
Resultaten van proef S 13153 B II 2 bij flow 2 atm (125 cm<sup>3</sup>/sec)

Mwk mm Hg	g	T g	Ps cm H <sub>2</sub> O	Fr Hz	Opmerking:
10	127	0	15	117	Bij T tussen 20 en 25 g treedt geén registerovergang op.
↓	↓	20	15½	140	
		50	21-	220	
		100	29-	331	
		150	33+	384	
		200	36	416	
		250	37½	443	
		300	39½	480	
					Nwk opgelopen tot 13 mm Hg (168 g).

Tabel 12  
Resultaten van proef S 13153 B I 3 bij flow 3 atm (190 cm<sup>3</sup>/sec).

Mwk mm Hg	g	T g	Ps cm H <sub>2</sub> O	Fr Hz	Opmerking:
0	0	0	3	114	fijnere toon fijnere toon grovere borsttoon
2	22	↓	5-	160	
4	50		11½	107	
8	100		16	120	
10	127		17-	128	
15	197		19-	144	
20	277		21-	152	
25	360		22	156	
30	442		24½	166	
35	530		25½	171	
40	630		26	176	

Tabel 13  
Resultaten van proef S 13153 B II 3 bij flow 3 atm (190 cm<sup>3</sup>/sec)

Mwk mm Hg	g	T g	Ps cm H <sub>2</sub> O	Fr Hz	Opmerking:
10	127	0	17-	136	Bij T tussen 20 en 25 g treedt een registerovergang op. Bij T tussen 50 en 100 g en tussen 100 en 150 g treedt telkens een toonsprong op.  Mwk opgelopen tot 13 mm Hg (168 g).
↓	↓	20	18	156	
		50	18½	384	
		100	28-	406	
		150	33½	480	
		200	37½	576	
		250	40	608	
		300	41	624	

Tabel 14  
Resultaten van proef S 13153 B I 4 bij flow 4 atm (250 cm<sup>3</sup>/sec).

Mwk mm Hg	g	T g	Ps cm H <sub>2</sub> O	Fr Hz	Opmerking:
0	0	0	3½	117	fijnere toon
2	22	↓	5½	128	fijnere toon
4	50		14+	120	grovere borsttoon
10	127	↓	19-	144	
15	197		22+	160	
20	277		25	171	
25	360		26½	176	
30	442		28	182	
35	530		29	187	
40	630		30½	192	

Tabel 15  
Resultaten van proef S 13153 B II 4 bij flow 4 atm (250 cm<sup>3</sup>/sec).

Mwk mm Hg	g	T g	Ps cm H <sub>2</sub> O	Fr Hz	Opmerking:
10	127	0	20½	160	Bij T tussen 20 en 25 g treedt een registerovergang op.
↓	↓	20	21-	171	
		50	21½	459	
		100	29½	576	
		150	35	624	
		200	40½	672	
		250	43-	683	
		300	45	683	
					Mwk opgelopen tot 13 mm Hg (168 g).

Tabel 16  
Resultaten van proef S 13153 B I 5 bij flow 5 atm ( $315 \text{ cm}^3/\text{sec}$ )

Mwk mm Hg	g	T g	Ps cm H <sub>2</sub> O	Fr Hz	Opmerking:
0	0	0	4+	136	fijnere toon
1	10	↓	5½	140	fijnere toon
3	35		7	144	fijnere toon
3	35		13+	120	grovere
6	72		18½	144	borsttoon
10	127		22½	160	
15	197		25½	171	
20	277		28-	176	
25	360		29	187	
30	442		30+	192	
35	530		31½	197	
40	630		31½	203	

Tabel 17  
Resultaten van proef S 13153 B II 5 bij flow 5 atm ( $315 \text{ cm}^3/\text{sec}$ )

Mwk mm Hg	g	T g	Ps cm H <sub>2</sub> O	Fr Hz	Opmerking:
10	127	0	23-	166	
↓	↓	20	22-	171	
		50	22½	480	
		100	31-	576	
		150	36	640	
		200	41	683	
		250	46-	726	
		300	48	747	
					Mwk opgelopen tot 13 mm Hg (168 g).

Tabel 18  
Resultaten van proef S 13153 B I 6 bij flow 6 atm (380 cm<sup>3</sup>/sec)

Mwk mm Hg	g	T g	Ps cm H <sub>2</sub> O	Fr Hz	Opmerking:
0	0	0	4	120	fijnere toon
1	10	↓	6½	152	fijnere toon
3	35		8	160	fijnere toon
6	72		20	144	grovere borsttoon
10	127		25½	171	
15	197		29	182	
20	277		29½	192	
25	360		31½	203	
30	442		33½	208	
35	530		34½	213	
40	630		36-	220	

Tabel 19  
Resultaten van proef S 13153 B II 6 bij flow 6 atm (380 cm<sup>3</sup>/sec)

Mwk mm Hg	g	T g	Ps cm H <sub>2</sub> O	Fr Hz	Opmerking:
10	127	0	26+	176	
↓	↓	20	25-	187	
		50	25-	480	Bij T tussen 20 en 25 g treedt een registerovergang op.
		100	33½	576	
		150	37½	640	
		200	40	672	
		250	43	683	
		300	45+	683	Mwk opgelopen tot 13 mm Hg (168 g).



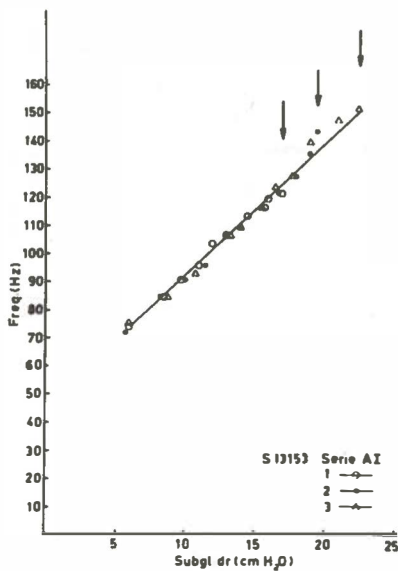


Fig. 6. Het verband tussen subglottische druk en frequentie bij de S 13153 A I proeven.

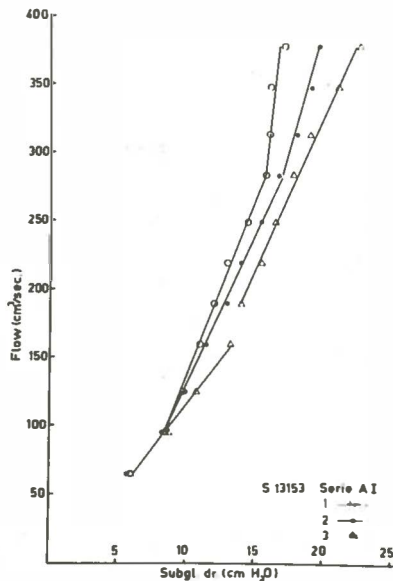


Fig. 7. Het verband tussen subglottische druk en flow bij de S 13153 A I proeven.

B II proef wordt bij een bepaalde flow en Mwk 10 mm Hg (127 g) de T geleidelijk opgevoerd van 0 tot 300 g. De Mwk blijkt bij 300 g trekkracht te zijn gestegen tot 13 mm Hg (168 g). Na een B I proef volgt onmiddellijk de overeenkomstige B II proef.

De resultaten van de proeven zijn weergegeven in tabellen 1-19; de fig. 6-14 geven de resultaten grafisch weer.

II. Preparaat S 13310,  $\sigma$  72 jaar. (De gegevens van dit preparaat staan vermeld onder III. 0).

Serie A I bestaat uit 5 proeven:

Proef A I 1. bij Mwk 2 mm Hg (22 g) en T 0 g.

Proef A I 2. bij Mwk 5 mm Hg (60 g) en T 0 g.

Proef A I 3. bij Mwk 8 mm Hg (100 g) en T 0 g.

Proef A I 4. bij Mwk 12 mm Hg (155 g) en T 0 g.

Proef A I 5. bij Mwk 17 mm Hg (230 g) en T 0 g.

Serie A II bestaat uit 5 proeven:

Proef A II 1. bij Mwk 10 mm Hg (127 g) en T 50 g.

Proef A II 2. bij Mwk 10 mm Hg (127 g) en T 100 g.

Proef A II 3. bij Mwk 10 mm Hg (127 g) en T 150 g.

Proef A II 4. bij Mwk 10 mm Hg (127 g) en T 270 g.

Proef A II 5. bij Mwk 10 mm Hg (127 g) en T 300 g.

Bij serie B I wordt bij de verschillende flows de Mwk geleidelijk opgevoerd van 0 tot 40 mm Hg (732 g), terwijl de trekkracht 0 g blijft.

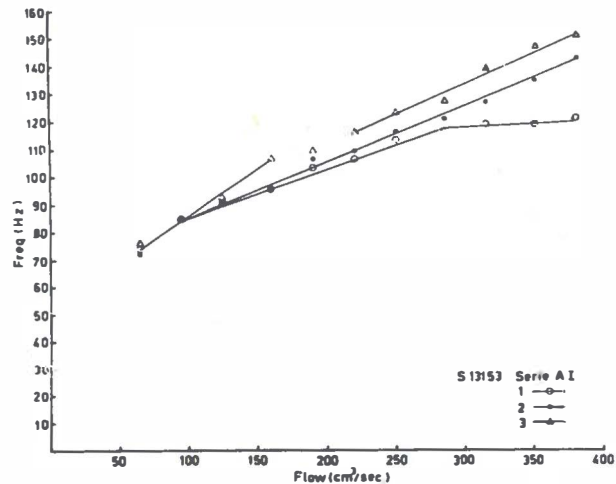


Fig. 8. Het verband tussen flow en frequentie bij de S 13153 A I proeven. De proeven 1, 2, 3 zijn uitgevoerd bij resp. Mwk 7 mm Hg (87 g) en T 0 g; Mwk 15 mm Hg (197 g) en T 0 g; Mwk 20 mm Hg (277 g) en T 0 g.

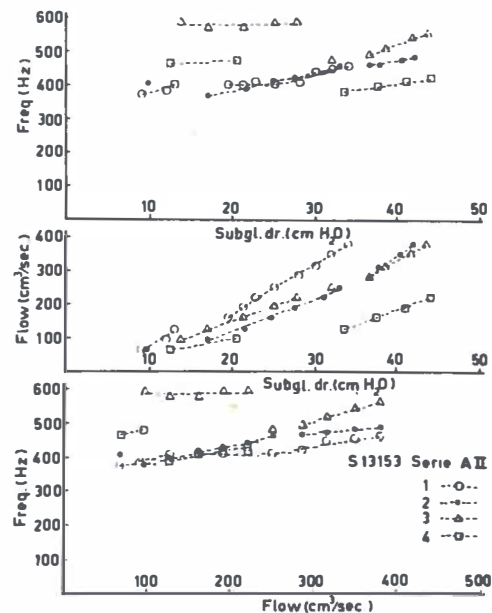


Fig. 9. Het verband tussen subglottische druk en frequentie bij de S 13153 A II proeven.

Fig. 10. Het verband tussen subglottische druk en flow bij de S 13153 A II proeven.

Fig. 11. Het verband tussen flow en frequentie bij de S 13153 A II proeven. De proeven 1, 2, 3, 4 zijn uitgevoerd bij resp. Mwk 20 mm Hg (277 g) en T 80 g; Mwk 20 mm Hg (277 g) en T 100 g; Mwk 20 mm Hg (277 g) en T 130 g; Mwk 20 mm Hg (277 g) en T 200 g. Bij de figuren 9-11 zijn de meetpunten van de S 13153 A II proef bij Mwk 20 mm Hg (277 g) en T 150 g weggelaten, daar bij opvoeren van de flow een aaneenschakeling van toonsprongen blijkt op te treden (verg. pag. 57).

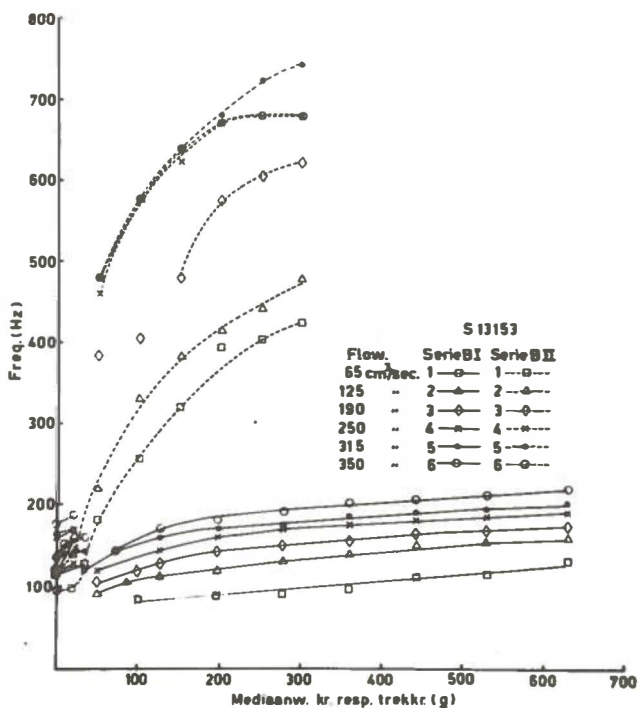


Fig. 12. Het verband tussen mediaanwaartse kracht resp. trekkkracht en frequentie bij de S 13153 B I resp. B II proeven.

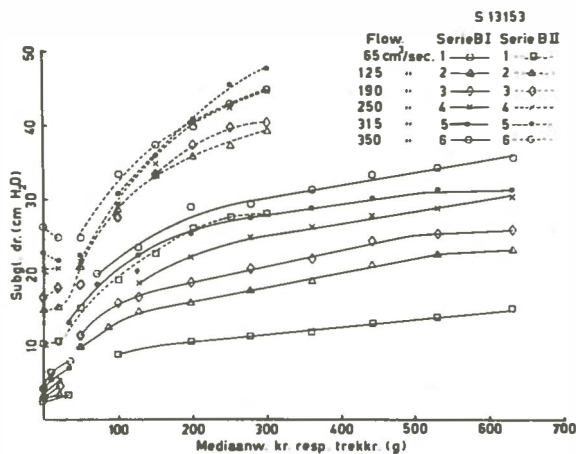


Fig. 13. Het verband tussen mediaanwaartse kracht resp. trekkkracht en subglottische druk bij de S 13153 B I resp. B II proeven.

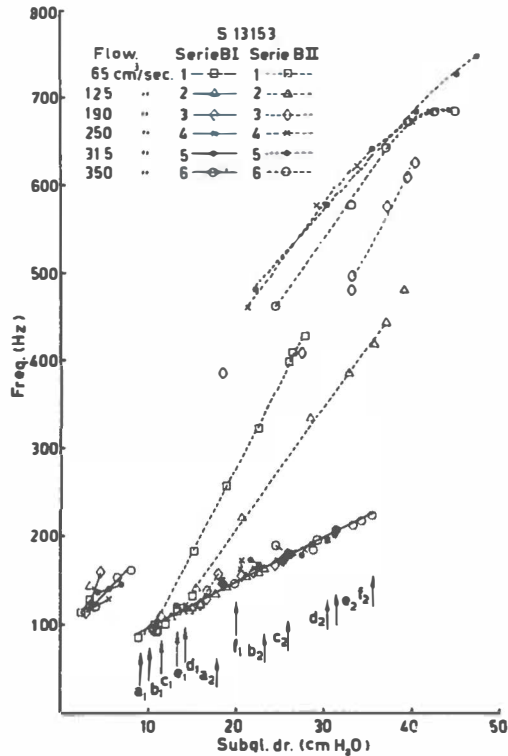


Fig. 14. Het verband tussen subglottische druk en frequentie bij de S 13153 B I en B II proeven.

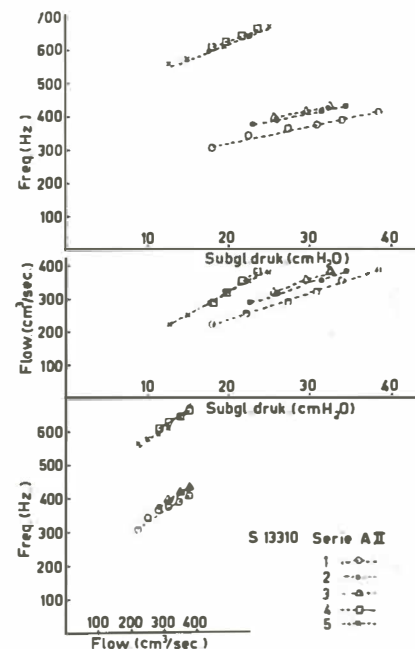
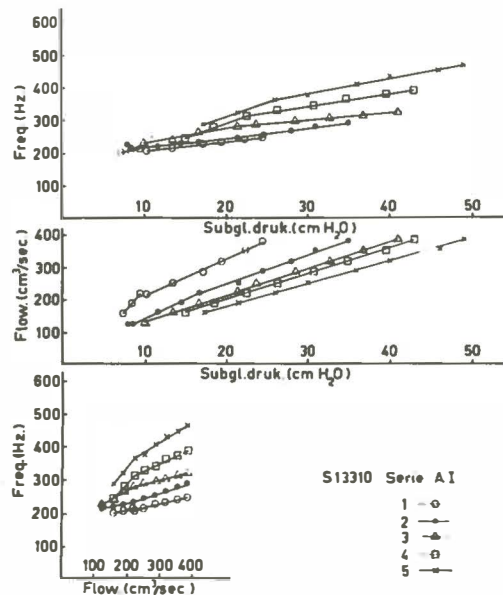
Bij serie B II wordt bij de verschillende flows een Mwk van 10 mm Hg (127 g) gecombineerd met geleidelijk opvoeren van de trekkracht van 0 tot 300 g. Met het opvoeren van de trekkracht blijkt de Mwk steeds hoger te worden. Bij T 50 g, 60 g, 80 g, 300 g bedraagt de Mwk respectievelijk: 10 + mm Hg (132 g),  $10\frac{1}{2}$  mm Hg (134 g),  $10\frac{1}{2}$  mm Hg (134 g),  $12\frac{1}{2}$ -mm Hg (158 g).

De figuren 15-23 geven de resultaten grafisch weer.

Uit praktische overwegingen volgen nu de curven behorende bij de preparaten S 13088 (fig. 24-32) en S 13200 (fig. 33-35); de bespreking komt later.

### III. 2. 1. BESPREKING VAN DE WAARNEMINGEN BIJ BORST- MIDDEN- EN FALSET-TONEN.

#### 1. Alleen als het slijmvliesoppervlak van de stem-



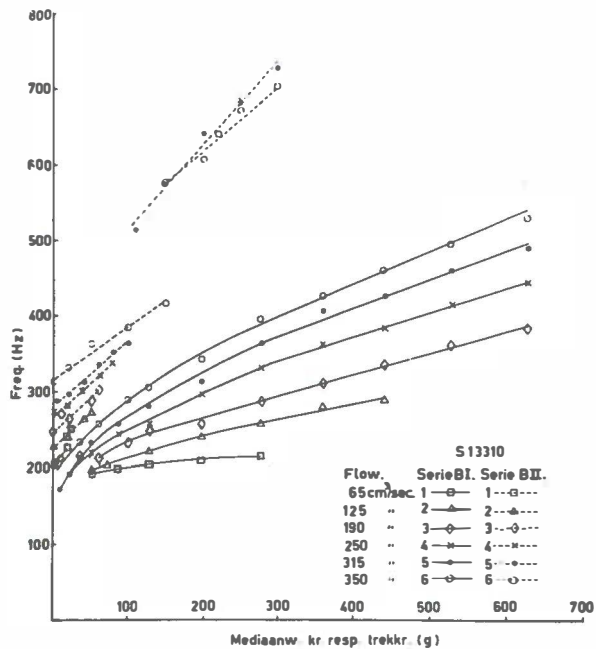


Fig. 21. Het verband tussen mediaanwaartse kracht resp. trekkracht en frequentie bij de S 13310 B I resp. B II proeven.

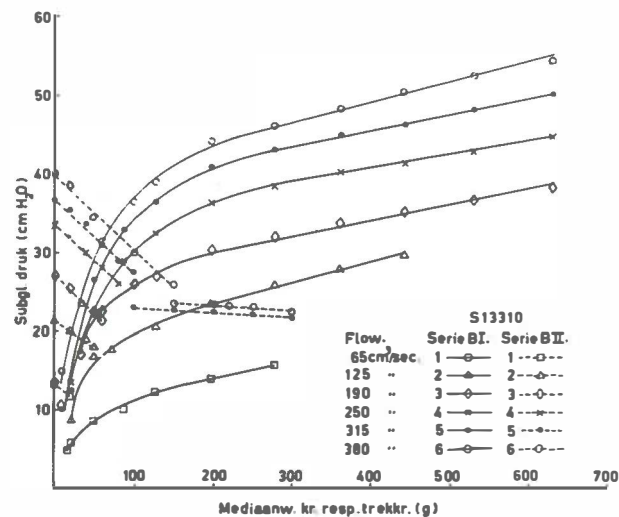


Fig. 22. Het verband tussen mediaanwaartse kracht resp. trekkracht en subglottische druk bij de S 13310 B I resp. B II proeven.

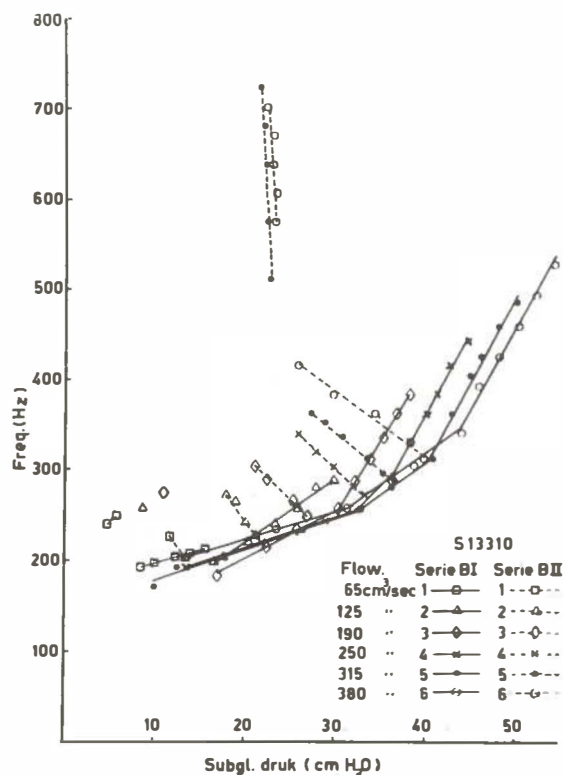


Fig. 23. Het verband tussen subglottische druk en frequentie bij de S 13310 B I en B II proeven.

plooien vochtig is, kunnen goede tonen worden geproduceerd. Wij gebruiken daarom met waterdamp verzadigde lucht van ongeveer  $37^{\circ}\text{C}$  en bevochtigen tijdens een proef de stemplooien regelmatig met  $\frac{3}{4}\text{N}$  fysiologische zoutoplossing.

**2. Optimale geluidsproductie** treedt op bij een bepaalde vochtigheidsgraad van het submuqueuze weefsel. Men bereikt dit door het preparaat 12 tot 24 uur voor de eerste proef en tussen de proeven door te dompelen in  $\frac{3}{4}\text{N}$  fysiologische zoutoplossing ( $\frac{3}{4} \times 0.9\%$  NaCl oplossing) (verg. II. 1).

### 3. Toonsprongen en registerovergangen

Tijdens onze proeven vallen de verschijnselen toonsprong en registerovergang zo sterk op, dat wij een bespreking van deze verschijnselen vooraf laten gaan aan een bespreking van de tussengelegen trajecten van de curven. Ook voor de interpretatie van deze

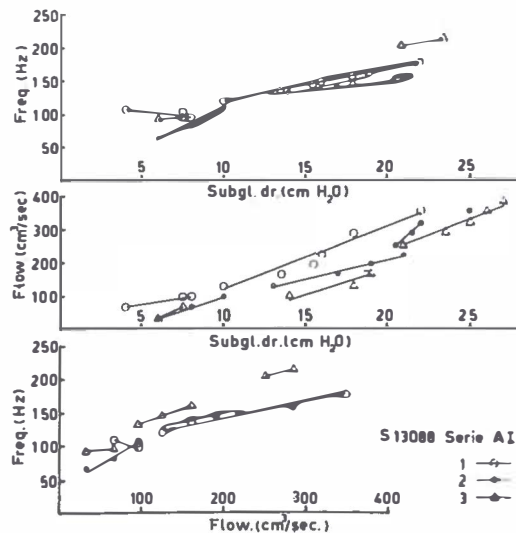


Fig. 24. Het verband tussen subglottische druk en frequentie bij de S 13088 A I proeven.

Fig. 25. Het verband tussen subglottische druk en flow bij de S 13088 A I proeven.

Fig. 26. Het verband tussen flow en frequentie bij de S 13088 A I proeven. De proeven 1, 2, 3 zijn uitgevoerd bij resp. Mwk 5 mm Hg (60 g) en T 0 g; Mwk 10 mm Hg (127 g) en T 0 g; Mwk 15 mm Hg (197 g) en T 0 g. Bij de figuren 24-26 zijn de meetpunten van de S 13088 A I proefuitgevoerd bij Mwk 20 mm Hg (277 g) en T 0 g weggelaten, daar bij opvoeren van de flow een aaneenschakeling van toonsprongen blijkt op te treden (verg. pag. 57).

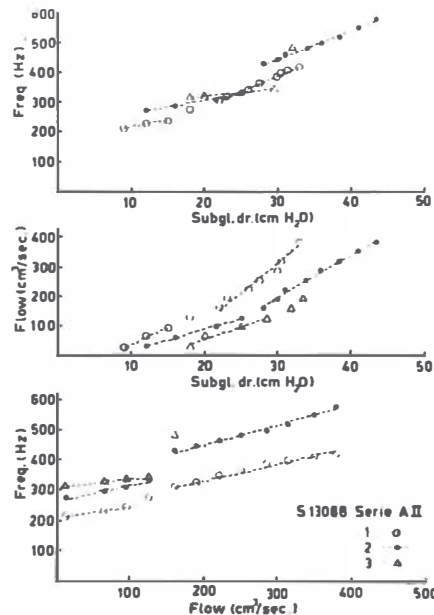


Fig. 27. Het verband tussen subglottische druk en frequentie bij de S 13088 A II proeven.

Fig. 28. Het verband tussen subglottische druk en flow bij de S 13088 A II proeven.

Fig. 29. Het verband tussen flow en frequentie bij de S 13088 A II proeven. 1, 2, 3 zijn uitgevoerd bij resp. Mwk 15 mm Hg (197 g) en T 50 g; Mwk 15 mm Hg (197 g) en T 80 g; Mwk 15 mm Hg (197 g) en T 100 g.



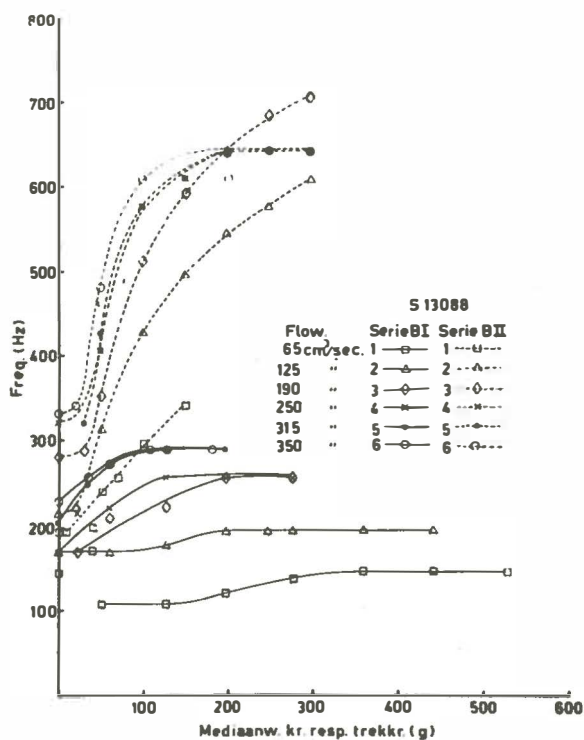


Fig. 30. Het verband tussen mediaanwaartse kracht resp. trekkraft en frequentie bij de S 13088 B I resp. B II proeven.

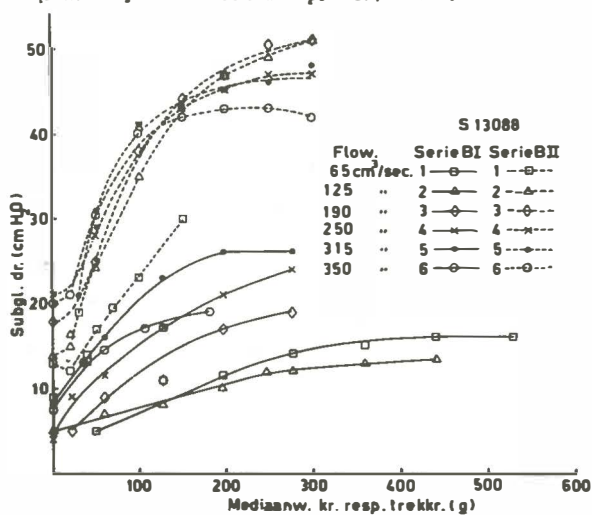


Fig. 31. Het verband tussen mediaanwaartse kracht resp. trekkraft en subglottische druk bij de S 13088 B I resp. B II proeven.

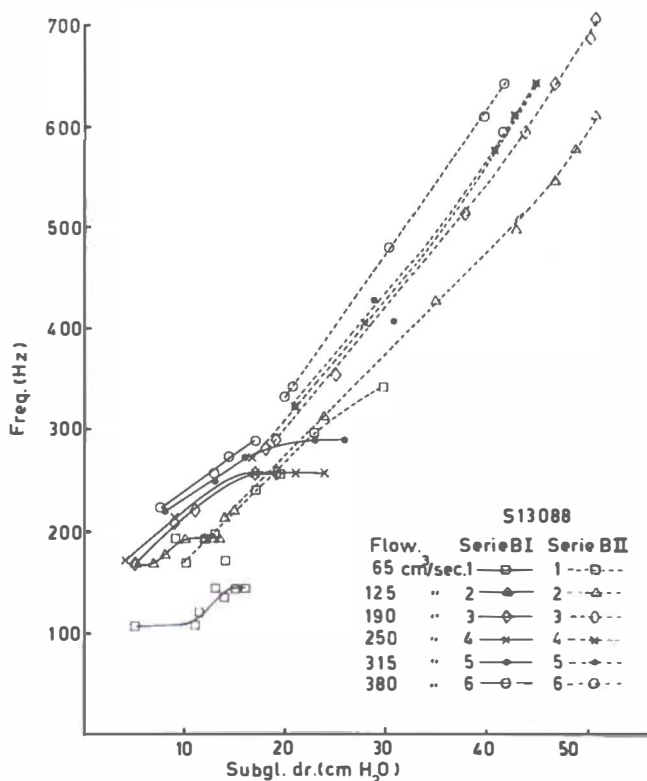


Fig. 32. Het verband tussen subglottische druk en frequentie bij de S 13088 B I en B II proeven.

tussengelegen trajecten is de kennis omtrent de begrippen toonsprong en registerovergang zeer belangrijk.

- a. Bij alle 3 registers kan het voorkomen, dat bij een zeer bepaalde combinatie van F1, Mwk en T plotseling een verandering van toon optreedt. In het speciale geval, dat de toon plotseling overgaat in een toon van een andere register, (d.w.z. in een toon met een andere klankkleur) spreken wij van registerovergang. Voorbeeld: preparaat S 13088,  $\sigma$  61 jaar. Bij dit preparaat treden bij 2 en 3 atm flow (125 en 190 cm³/sec) enkele toonsprongen op in borst- en falsetregister:
- Bij F1 2 atm (125 cm³/sec), Mwk  $\frac{1}{2}$  mm Hg (5 g) en T 0 g treedt op: 136 Hz en 72 Hz (2 borsttonen). De Ps bedraagt 4 cm respectievelijk 7 cm H₂O.
  - Bij F1 2 atm (125 cm³/sec), Mwk 17 mm Hg (230 g) en T 30 g treedt een toonsprong op: 166 Hz en 128 Hz

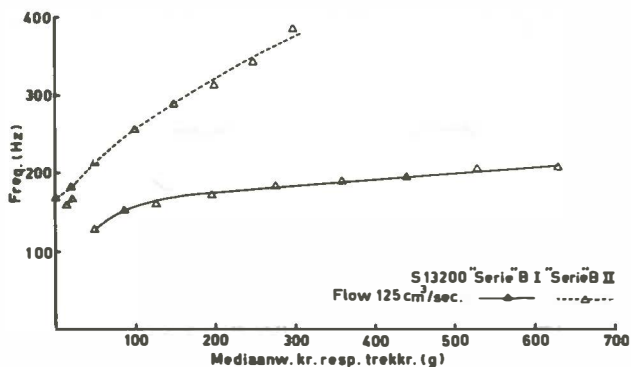


Fig. 33. Het verband tussen mediaanwaartse kracht resp. trekkracht en frequentie bij de S 13200 B I resp. B II proef, uitgevoerd bij een flow van 2 atm ( $125 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ).

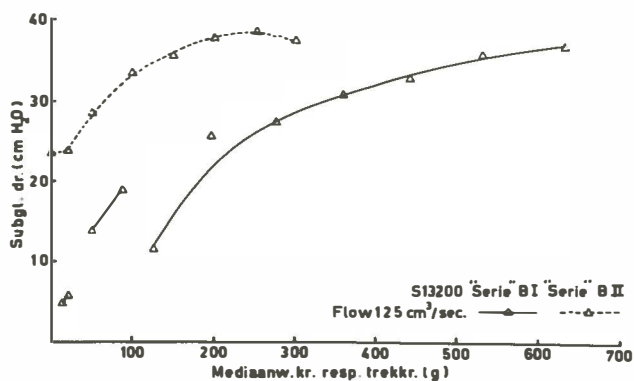


Fig. 34. Het verband tussen mediaanwaartse kracht resp. trekkracht en subglottische druk bij de S 13200 B I resp. B II proef, uitgevoerd bij een flow van 2 atm ( $125 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ).

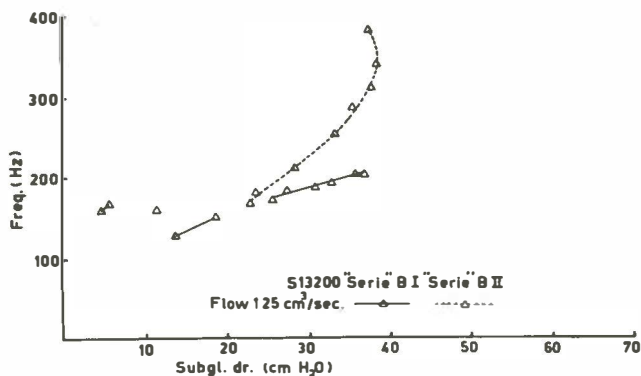


Fig. 35. Het verband tussen subglottische druk en frequentie bij de S 13200 B I en B II proef, uitgevoerd bij een flow van 2 atm ( $125 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ).

(2 hogere borsttonen). De Ps bedraagt 8 respectievelijk  $9\frac{1}{2}$  cm H<sub>2</sub>O.

- Bij Fl 3 atm (190 cm<sup>3</sup>/sec), Mwk 14 mm Hg (182 g) en T 40 g treedt een toonsprong op: 312 Hz en 296 Hz (2 falsettonen). De Ps bedraagt 17 respectievelijk 18 cm H<sub>2</sub>O.

b Bij een toonsprong en registerovergang gaat de hogere frequentie gepaard met een lagere Ps en omgekeerd. Hieruit kunnen wij afleiden, dat bij een toonsprong en registerovergang de stemspleet bij de hogere toon effectief wijder is dan die bij de lagere toon, immers een wijdere stemspleet heeft minder weerstand (verg. pag. 59).

Als speciaal voorbeeld van een registerovergang zou men de overgang van fluweelachtige toon naar lage borsttoon kunnen opvatten. Bij preparaat S 13153 (fig. 14, B II Ps-Fr curven) hoort men bij flow 1 en 2 atm (65 en 125 cm<sup>3</sup>/sec) eerst een *hogere*, *zachtere*, *fluweelachtige toon* (met lagere Ps gepaard gaande), die later plotseling overgaat in een *lagere*, *luidere*, *grovere borsttoon* (die met een hogere Ps gepaard gaat). Bij de flows 3, 4, 5, 6 atm (190, 250, 315, 380 cm<sup>3</sup>/sec) is de toon in het begin minder duidelijk van fluweelachtig karakter, maar wel duidelijk hoorbaar van fijner karakter dan de later optredende lagere grovere borsttoon. Ook nu weer gaat de regel op, dat bij een registerovergang de hogere frequentie gepaard gaat met een lagere Ps en omgekeerd. (Voor de fluweelachtige toon vergelijk men V. 2.4).

#### c *De overgang tussen middenregister en falsetregister*

Bij onze proeven was het als regel niet mogelijk de overgang van het middenregister naar het falsetregister geleidelijk te doen verlopen. In vivo doen zich dezelfde moeilijkheden voor, hoewel de gezongende zanger deze vrij goed kan camoufleren. Dat deze overgang op een essentiële verandering van de omstandigheden berust, blijkt uit het volgende:

1. Bij onze B II proeven treden als regel en bij onze A II proeven treden soms plotselinge toonveranderingen op, die afgaande op de frequenties en klankkleur vergeleken kunnen worden met registerovergangen tussen hogere midden- en lagere falsettonen in vivo. Voorbeeld:

a. Bij preparaat S 13153 (serie B II) treden registerovergangen op bij:

- Fl 3, 4, 5, 6 atm (190, 250, 315, 380 cm<sup>3</sup>/sec), Mwk 10 mm Hg (127 g) en T tussen 20 en 25 g (zie tabel 13, 15, 17, 19).

Ook nu weer blijkt, dat de hogere frequentie van een registerovergang gepaard gaat met een lagere Ps (fig. 14). Vooral bij flows 4, 5, 6 atm (250, 315, 380 cm<sup>3</sup>/sec) is dit zeer duidelijk; afgaande op de hogere frequenties na de registerovergang naar het falsetregister zou men immers geneigd zijn veel hogere Ps-waarden te verwachten.

b. Bij preparaat S13153 ziet men ook bij de proeven A II 1, 2, 3, 4 telkens registerovergangen van hogere middentonen naar lagere falsettonen optreden (fig. 9-11). Ook nu weer blijkt, dat de hogere frequentie bij een registerovergang gepaard gaat met een lagere Ps.

2. Onder IV.1.6., IV.1.3 punt VIII en bij de bespreking van de T-Fr curven wordt aangetoond, dat de toonsprongen bij de B II T-Fr proeven kunnen optreden als de rekbare toestand van het ligamentum vocale overgaat in de onrekbare. Bij de B II T-Fr proeven treden de toonsprongen bij de corresponderende lage trekwaarden (20-25 g) op. Deze toonsprongen zijn dus te vergelijken met de toonsprongen, die in vivo kort na het begin van de musculus cricothyreoideus contractie optreden. De registerovergangen van onze preparaten zijn dus een nabootsing van de registerovergang tussen het midden- en falsetregister in vivo.

d. *De scheiding tussen borst- en middenregister.*

Deze registerovergang is veel minder duidelijk. De overgang van het borstregister naar het middenregister kan in het algemeen door voorzichtig manipuleren met de veranderlijke grootheden geleidelijk plaatsvinden. Op grond hiervan zou men kunnen concluderen, dat er in vivo niet noodzakelijk een abrupte overgang behoeft te bestaan tussen deze registers. Dit blijkt in de praktijk ook zo te zijn; bij geoefende zangers bemerkt men hier geen registerovergang.

Bij onze B I Mwk-Fr proeven treden als regel geen registerovergangen op tussen borst- en middentonen. Uitzondering op deze regel is het abnormale preparaat S 13241\* (fig. 36 37 Mwk-Fr curve en Mwk-Ps

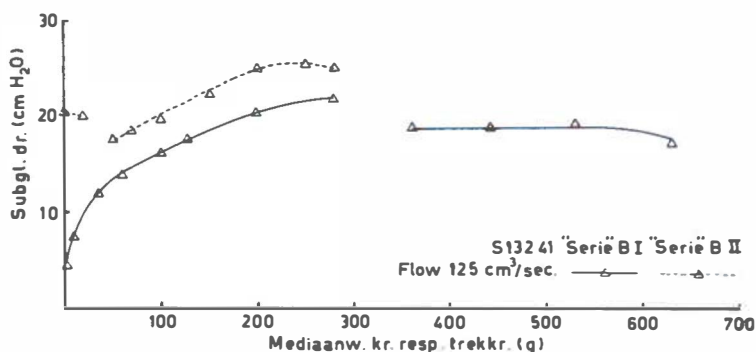


Fig. 36. Het verband tussen mediaanwaartse kracht resp. trekkraft en subglottische druk bij de S 13241 B I resp. B II proef, uitgevoerd bij een flow van 2 atm (125 cm<sup>3</sup>/sec).

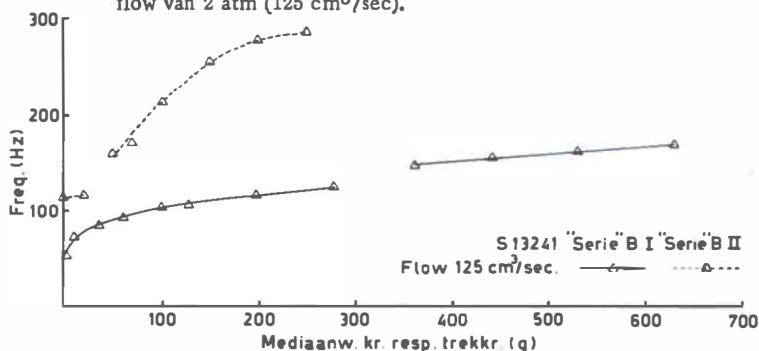


Fig. 37. Het verband tussen mediaanwaartse kracht resp. trekkraft en frequentie bij de S 13241 B I resp. B II proef, uitgevoerd bij een flow van 2 atm (125 cm<sup>3</sup>/sec).

curve). Wij zien een registerovergang optreden van 126 Hz naar 148 Hz; de Ps is respectievelijk 22 en 19 cm H<sub>2</sub>O.

Op grond van c en d zouden wij liever 2 registers willen aannemen, die overeenkomen met borst- + middenregister, respectievelijk falsetregister. Tussen deze 2 registers treedt als regel een registerovergang op. De musculus cricothyreoideus is gecontracteerd bij de falsettonen en bij de hoge midden-tonen.

e. Het komt een enkele keer voor, bij zeer bepaalde combinaties van mediaanwaartse kracht en trekkracht, dat het preparaat bij het opvoeren van de flow een aaneenschakeling van toonsprongen produceert. Deze toonsprongen zijn dus praktisch onafhankelijk van de flow.

Bij de AI en AII proeven zien wij dan, nadat wij de waarden van flow, Ps en frequentie grafisch hebben

uitgezet, dat het onderlinge verband niet bestaat uit rechte lijnen. Er treedt dan een aaneenschakeling van toonsprongen op. Voorbeeld:

1. Bij de S 13151 A II proeven blijken bij Mwk 20 mm Hg (277 g) en T 150 g bij alle flows een aaneenschakeling van toonsprongen op te treden (zie tekst fig. 11).

2. Bij de S 13088 A I proef, uitgevoerd bij Mwk 20 mm Hg (277 g) entrekkracht 0 g, blijkt bij opvoeren van de flow een aaneenschakeling van toonsprongen op te treden; het is onmogelijk door de meetpunten een lijn te trekken (zie tekst fig. 26).

Conclusie: Bij deze zeer bepaalde combinaties van Mwk en T verkeren de preparaten blijkbaar voortdurend in een labiele toestand. Bij het opvoeren van de flow treden daardoor voortdurend veranderingen op van de bewegende delen (van de stemplooien), waardoor nu eens het ene niveau en dan weer het andere niveau als rand van de stemspleet fungeert.

In het vervolg zullen wij steeds de term "stemspleet" bezigen; hiermee bedoelen wij de *effectieve* *wijde van de stemspleet*.

*In vivo* schijnt een combinatie van een bepaalde stand van de arytenoiden (door een bepaalde evenwichtstoestand tussen abductie- en adductiespijeren) en een bepaalde contractie van de musculus vocalis en musculus cricothyreoideus nodig te zijn voor het optreden van een toonsprong en registerovergang. Bereikt een zanger tijdens het zingen zo'n bepaalde combinatie, dan zal de contractie van één of meer bovenbedoelde spieren veranderd moeten worden. De subglottische druk zal veranderen. Om op dit critieke punt ongeveer dezelfde intensiteit aan te houden zal men met de flow moeten manipuleren. De zangoefening dient er ook voor het passeren van deze moeilijke punten zo geleidelijk mogelijk te doen verlopen.

Als conclusie zouden wij van het begrip toonsprong en registerovergang de volgende *definitie* willen geven:

Een toonsprong is een plotselinge toonverandering, wanneer bij een combinatie van een bepaalde evenwichtstoestand tussen abductie- en adductiespijeren en een bepaalde contractie van de musculus vocalis en musculus cricothyreoideus een labiele toestand ontstaat (de musculus cricothyreoideus kan soms ook volkomen ontspannen zijn). Er treedt een plotselinge verandering van de bewegende massa van de stemplooien op, waardoor (plotseling) een ander

stemplooiniveau als rand van de stemspleet fungeert en het bewegingspatroon van de stemplooien verandert.

Dezelfde definitie kunnen wij geven voor het begrip registerovergang. Hierbij gaat de toon echter plotseling over in een toon van een ander register met een andere klankkleur.

Nu volgen nog enkele opmerkingen omtrent het begrip toonsprong.

- Er bestaat geen wetmatig verband tussen de twee frequenties van een toonsprong.

- Ook bestaat geen wetmatig verband tussen de twee frequenties en de respectievelijke Ps-waarden (met name blijft bijvoorbeeld het product  $Fr \times Ps$  niet gelijk).

- Gelukt het bij eenzelfde preparaat verschillende toonsprongen te doen plaatsvinden (met telkens een andere combinatie van Mwk en T), dan blijkt na grafische uitzetting geen wetmatig verband te bestaan tussen de gevonden uitkomsten van Mwk (resp. T), Ps, Fr.

f. Toonsprongen, die optreden binnen het gebied van een register kunnen het gevolg zijn van de *koppeling van de larynx aan het subglottische systeem*. Afhankelijk van de eigenschappen van het subglottische systeem mag men namelijk moeilijkheden verwachten bij de geleidelijke verandering van de toon in de buurt van *bepaalde* frequenties. In plaats van een geleidelijke verandering van de toon treedt dan een toonsprong op. Bij het subglottische systeem van onze proefopstelling is proefondervindelijk aangetoond, dat toonsprongen optreden in de buurt van bepaalde frequenties, waarvan de volgende de belangrijkste zijn: 100 Hz, 300 Hz, 500 Hz, 700 Hz; bovendien 150 Hz, 250 Hz, 350 Hz.

VAN DEN BERG deed in 1957 proeven met menselijke cadavers (publicatie 1958). Hij toonde aan, dat er een koppeling bestaat tussen de trachea en de bronchien met de larynx; de invloed is vooral duidelijk in de buurt van 300, 900 en 1500 Hz. Dit is een verklaring voor het verschijnsel, dat in vivo juist in de buurt van deze frequenties, met name bij 300 Hz, soms moeilijkheden in de toonovergang ontstaan.

g Een enkele keer treedt de plotselinge toonverandering op in de buurt van een bepaalde frequentie. Voorbeeld:

1. Aan de S 13310 B I Ps-Fr curven (fig. 23) ziet men, dat het verband tussen subglottische druk en



frequentie bestaat uit 1, 2 of 3 rechte lijnen. De knik tussen de lijnen ligt echter steeds bij dezelfde frequenties:  $\pm 225$  Hz en  $\pm 315$  Hz.

2. Bij de S 13310 B I proevenreeks (fig. 21) ziet men dat bij 1, 2, 3 atm flow (65, 125, 190 cm<sup>3</sup>/sec) in het gebied van de lage Mwk-waarden telkens een plotselinge toonverandering optreedt.

Bij flow van 1 atm (65 cm<sup>3</sup>/sec) treedt bij een Mwk-verandering van 2 naar 4 mm Hg (20 naar 50 g) een plotselinge frequentie-verandering op van 248 naar 192 Hz.

Bij flow van 2 atm (125 cm<sup>3</sup>/sec) treedt bij een Mwk-verandering van 2 naar 4 mm Hg (20 naar 50 g) een plotselinge frequentie-verandering op van 256 naar 197 Hz.

Bij flow van 3 atm (190 cm<sup>3</sup>/sec) treedt bij een Mwk-verandering van 1 naar 3 mm Hg (10 naar 35 g) een plotselinge frequentie-verandering op van 272 naar 182 Hz.

Steeds treedt dus een plotselinge toonverandering op van  $\pm 260$  Hz naar  $\pm 190$  Hz. Wij kunnen geen verklaring geven voor deze genoemde waarnemingen. Wellicht hangen deze samen met de koppeling tussen larynxpreparaat en het subglottische systeem.

h Een enkele keer blijkt de registerverandering gebonden te zijn aan één bepaalde flow.

Voorbeeld: Aan de S13310 A I Fl-Fr curven (fig. 17) ziet men, dat het verband tussen flow en frequentie bij alle 5 A I proeven bestaat uit twee rechte lijnen. In al deze gevallen ligt de knik tussen de 2 lijnen juist bij een flow van 220 cm<sup>3</sup>/sec ( $= 3\frac{1}{2}$  atm). Voor deze waarneming kunnen wij geen verklaring geven.

4. Het onderlinge verband tussen Fl, Ps, Fr bij de A I en A II proeven bestaat uit lineaire trajecten. Tussen de rechte lijnen treedt telkens een toonsprong op (series A I en A II van de preparaten: S 13153 fig. 6-11; S 13310 fig. 15-20; S 13088 fig. 24-29) Bij de rechte lijnen voor en na een toonsprong horen 2 verschillende niveaus van de stemplooiën, die als rand van de stemspleet fungeren. Bestaat een curve uit 4 rechte lijnen, dan wil dit zeggen, dat 4 niveaus als rand van de stemspleet hebben gefungeerd.

Waarom het onderlinge verband tussen Fl, Ps, Fr bij de A I en A II proeven juist uit rechte lijnen bestaat, kunnen wij niet zonder meer verklaren. Het wekt de indruk, dat gedurende elk traject het preparaat zich geleidelijk kan aanpassen aan de geleidelijk veranderende omstandigheden.

5. De effectieve breedte van de stemspleet (S) verandert met de toonhoogte.

Maken wij gebruik van de volgende afkortingen: stemspleet van respectievelijk een borsttoon, middentoon, falsettoon: Sb, Sm, Sf, dan zien wij het volgende:

- Als regel geldt, dat de Shogere toon < S lagere toon. Anders gezegd globaal genomen is  $S_f < S_m < S_b$ . (a).  
- Een uitzondering op deze regel wordt gevormd door de 2 tonen van een toonsprong en registerovergang. Voor deze speciale gevallen geldt, dat S hogere toon > S lagere toon (b).

ad (a): Uit de B I Ps-Fr curven (borst- en lagere middentonen) en de B II Ps-Fr curven (hogere middentonen en falsettonen) bij constante flow blijkt namelijk in het algemeen, dat een hogere toon gepaard gaat met een hogere Ps. Hieruit volgt, dat Shogere toon < S lagere toon.

ad (b): Treedt in het verloop van een B I of B II proef een toonsprong of registerovergang op, dan ziet men, dat bij deze plotselinge overgang van lagere naar hogere tonen de Ps plotseling daalt, terwijl dus de overige omstandigheden (flow, Mwk resp. trekkracht) precies dezelfde zijn gebleven. Men ziet nu (als uitzondering op de regel), dat de hogere toon gepaard gaat met een lagere Ps, en dat de lagere toon gepaard gaat met een hogere Ps. Voor de 2 tonen van een toonsprong of registerovergang gelden dus, dat Shogere toon > S lagere toon. Ook voor 2 tonen, die vlak vóór respectievelijk achter een registerovergang zijn gelegen, geldt dat Shogere toon > S lagere toon. Voor de tonen, die gelegen zijn op een traject dat niet door een toonsprong of registerovergang is onderbroken, geldt de algemene regel.

### III. 2. 2      BESPREKING VAN RESULTATEN, DIE ALLEEN BETREKKING HEBBEN OP BORSTTONEN.

1. De laagste borsttonen krijgt men bij onze proeven door de thyreoidhoek heel licht naar achteren te drukken. (a).

Als deze druk een bepaalde, zeer kleine waarde overschrijdt, heeft geen geluidsproductie plaats, ook niet bij de hoogste flows. (b).

ad (a). Wanneer er geen lucht stroomt langs de stemspleet en men drukt de thyreoidhoek heel licht naar achteren, dan ziet men plooien in de randen van de rustende stemplooien; immers de afstand tussen de stemplooi-uiteinden is nu kleiner dan die, waarbij geen druk op de thyreoidhoek wordt uitgeoefend.

Stroomt wèl lucht langs de stemspleet, dan bollen de stemplooiranden laterocraniaalwaarts op. De stemplooiranden komen nu onder lichte spanning te staan en de stemplooien beginnen te bewegen (BERNOULLI-effect, zie pag.142). Bij deze kleine spanning van de stemplooiranden worden de laagst-mogelijke tonen geproduceerd. Deze laagste borsttonen zijn echter niet fysiologisch, daar tijdens het leven een dorsaalwaarts bewegen van de thyreoidhoek niet voorkomt.

ad (b): Overschrijdt de druk op de thyreoidhoek een bepaalde, zeer lage waarde en stroomt lucht door de stemspleet, dan zullen de stemplooiranden nu veel verder craniolateraalwaarts opbollen. Ook bij de hoogste flows zal geen toonproductie plaats hebben, doordat de stemplooiranden nu te ver van elkaar afstaan en het BERNOULLI-effect niet voldoende is om de stemploobeweging op gang te brengen.

2 Nu volgen 4 waarnemingen (a, b, c, d), die betrekking hebben op de *fysiologisch laagste borsttonen* (die dus ook tijdens het leven optreden).

a De laagste borsttonen zijn bij onze proeven alleen op te wekken bij lage flow ( $\frac{1}{2}$ , 1 atm = 30, 65 cm<sup>3</sup>/sec, lage Mwk (0 - 3 mm Hg = 0 - 35 g) en trekkracht 0 g. De Ps is laag (enkele cm H<sub>2</sub>O); de intensiteit is klein.

b De productie van de laagste borsttonen houdt op bij zeer kleine trekwaarden. Wordt dus een lage borsttoon geproduceerd en begint men te trekken, dan zal reeds bij zeer kleine trekwaarden de toonproductie ophouden.

Mechanisme: Tengevolge van de trek aan de thyreoidhoek:

1. Zullen de processus vocales lateraalwaarts of craniolateraalwaarts bewegen (verg. III. 3. 1.) De stemspleet wordt groter en de Ps daalt.

2. Zal de spanning van de stemplooiranden groter worden.

De kleinere Ps is niet meer in staat de stemplooien met de grotere randspanning in beweging te houden en de toonproductie houdt op.

De volgende verschijnselen, die *in vivo* optreden, worden nu beter begrepen:

ad a De laagste tonen kunnen alleen worden gezongen met klein ademverbruik (kleine flow) en met relatief ontspannen inwendige larynxspieren; de laagste borsttonen kunnen niet luid worden gezongen.

ad b Contractie van de musculus cricothyreoideus zal stoornissen geven bij het zingen van de laagste borsttonen.

De volgende 2 punten zijn ervaringsfeiten en kunnen gemakkelijk uit punt a worden begrepen:

c Met een grotere flow ( $> 2 \text{ atm} = > 125 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ) kan men geen laagste borsttonen krijgen, ook niet als de Mwk 0 g bedraagt. Trouwens bij alle A I proeven blijkt, dat de frequentie stijgt met het opvoeren van de flow.

d Bij grotere Mwk-waarden ( $> 5 \text{ mm Hg} = > 60 \text{ g}$ ) kan men geen laagste borsttonen krijgen, ook niet bij de laagste flow ( $\frac{1}{2} \text{ atm} = 30 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ). Door opvoeren van de Mwk zal het deel van de stemplooiën, craniaal van de processus vocales, niet meer kunnen meebewegen; ook de arytenoiden kunnen niet meer meebewegen (verg. V. 2. 2. punt B).

### 3 *Fluweelachtige toon*

Bij enkele preparaten hoort men, als men de Mwk zeer geleidelijk opvoert, uitgaande van de nulwaarde, dat voorafgaande aan de (fysiologische) laagste borsttonen, een tijdlang een fluweelachtige toon wordt geproduceerd. De overgang tussen fluweelachtige toon en laagste borsttoon treedt plotseling op. De fluweelachtige toon is hoger en van kleinere intensiteit. De borsttoon is uiteraard lager, van grotere intensiteit en duidelijk van grover karakter (zie verder V. 2. 4).

## III. 2. 3. BESPREKING VAN DE RESULTATEN BIJ BORST- EN LAGERE MIDDENTONEN.

De borst- en lagere middentonen treden bij A I en B I proeven op. Achtereenvolgens komt de bespreking van de A I curven, B I Mwk-Fr curven, B I Mwk-Ps curven, B I Ps-Fr curven.

### I *Bespreking van de A I curven.*

De flow wordt opgevoerd van 1 tot 6 atm (65 tot 315  $\text{cm}^3/\text{sec}$ ) met sprongen van een  $\frac{1}{2} \text{ atm}$ , bij een bepaalde Mwk en trekkracht 0 g. Het onderlinge verband tussen Fl, Ps en Fr wordt grafisch uitgezet.

De punten 1 - 4 gelden voor de A I curven *in het algemeen*. De punten 5, 6 hebben betrekking op enkele *bijzondere* A I curven van de preparaten S 13153 en S 13310.

1 Het onderlinge verband tussen flow, subglottische druk en frequentie kan worden weergegeven door lineaire trajecten:

Voorbeeld: S 13310 A I curven, (fig. 15-17), S 13153 A I curven (fig. 6-8). Een verklaring voor dit zeer typische onderlinge verband, dat steeds weer wordt

gevonden, kunnen wij niet zonder meer geven. Het moet berusten op een geleidelijke aanpassing van de larynx aan de geleidelijk veranderende omstandigheden.

**2** Tussen de rechtlijnige trajecten treedt soms een plotselinge verandering van toon (en Ps) op (toonsprong of registerovergang).

Voorbeeld: S 13153 A I curven (fig. 6-8) en S 13088 A I curven (fig. 24-26).

**3** Aan de A I curven ziet men, dat bij eenzelfde flow een hogere Mwk gepaard gaat met een grotere Ps en hogere frequentie. Deze regel geldt bij alle graden van niveauverschil tussen de stemplooien.

Voorbeeld: S 13153 A I curven (fig. 6-8) en S 13088 A I curven (fig. 24-26), S 13310 A I curven (fig. 15-17).

Mechanisme: Tengevolge van de grotere Mwk is de stemspleet in horizontale richting kleiner. Hierdoor - is de Ps groter en

- is het trillende deel van de stemplooien korter. De trillende massa is kleiner en de frequentie is dus groter.

**4** Wil men bij een grotere Mwk éénzelfde frequentie bereiken, dan kan men volstaan met een kleinere flow.

Voorbeeld: S 13088 A I curven (fig. 24-26). Men ziet, dat de Ps-Fr curven van A I 1, 2, 3 vrijwel samenvallen. Om eenzelfde frequentie van bijvoorbeeld  $\pm 150$  Hz te krijgen is in alle 3 gevallen een Ps van 18 cm H<sub>2</sub>O nodig. De Ps-Fl curven tonen, dat voor een Ps van 18 cm H<sub>2</sub>O in de volgorde A I 1, A I 2, A I 3, een flow van respectievelijk: 275, 175, 145 cm<sup>3</sup>/sec nodig is.

**5** Bespreking van de S 13153 A I curven (fig. 6-8). De gegevens van dit preparaat staan vermeld onder III. 0).

De A I en A II proeven zijn alle in dezelfde zitting gemaakt; de pincetpunten blijken iets verder naar achteren te zitten dan als regel het geval is (gewoonlijk zitten de pincetpunten onmiddellijk lateraal tegen de processus vocales aan).

a. De A I curven, die alle uit rechtlijnige gedeelten bestaan, vertonen de neiging om samen te vallen.

Vooraf aan de Ps-Fr curven (getrokken als één lijn) ziet men dit duidelijk. (1).

Wel zien wij, dat in de volgorde A I 1, A I 2, A I 3 de meetpunten steeds verder naar rechts-boven reiken. (2).

Uit (1) volgt, dat bij dezelfde Ps ongeveer dezelfde frequentie optreedt. Dit kan alleen als bij opvoeren van de Mwk de stemspleet ongeveer gelijk van grootte blijft.

Uit (2) volgt, dat bij dezelfde flow van 6 atm ( $315 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ) bij een grotere Mwk een hogere frequentie wordt bereikt. Door de grotere Mwk is de trillende massa iets kleiner geworden en is de frequentie hoger.

b. Uit de A I Ps-F1 curven blijkt, dat bij dezelfde flow een grotere Mwk gepaard gaat met een grotere Ps.

Verklaring: Bij een grotere Mwk is de gemiddelde stemspleet (iets) kleiner.

c. Uit de A I F1-Fr curven blijkt, dat de lijnen de neiging vertonen om samen te vallen; bij de grotere flows ziet men de lijnen duidelijker divergeren. Met andere woorden: Bij dezelfde flow treedt nagenoeg dezelfde frequentie op (bij verschillende waarden van de Mwk).

Maar toch ziet men, dat bij een grotere Mwk (dus bij dezelfde flow) iets hogere frequenties worden bereikt.

Mechanisme: Bij een grotere Mwk wordt de bewegende massa iets kleiner en zoals op pagina 68 blijkt, wordt de stemspleet iets kleiner.

Uit a, b, c volgt: Doordat de pincetpunten bij dit preparaat iets meer naar achteren gelegen zijn dan als regel het geval is, zal bij een grotere Mwk:

1. de gemiddelde glottis iets kleiner zijn en zal dus de Ps iets hoger zijn.
2. de trillende massa iets kleiner worden en zal dus de frequentie iets hoger zijn.

**6** Bespreking van de resultaten van de S 13310 A I curven (fig. 15-17). (De gegevens van dit preparaat staan vermeld onder III. 0).

a. De A I curven bestaan uit 1 of 2 gedeelten, die rechtlijnig verlopen en deze curven liggen op volgorde volgens grootte van de flow.

b. Bij dezelfde flow zal bij een grotere Mwk een hogere frequentie en hogere Ps horen (zie F1-Fr en Ps-F1 curven).

c. Aan de F1-Fr curven ziet men, dat alle curven uit 2 rechtlijnige stukken bestaan. De curven vertonen echter alle een knik bij een flow van  $220 \text{ cm}^3/\text{sec}$  ( $= 3\frac{1}{2} \text{ atm}$ ). Is dit een registerverandering, die gebonden is aan een bepaalde flow? Wij kunnen geen verklaring geven voordat verschijnsel. (verg. III. 2. 1 punt 3 h).

Helaas zijn bij preparaat S 13310, bij serie B I en B II geen proeven gedaan bij flow  $3\frac{1}{2}$  atm ( $220 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ). Als wij een aaneenschakeling van toonsprongen zouden krijgen en door de meetpunten dus geen behoorlijke curve te trekken zou zijn, zou dit pleiten voor onze veronderstelling, dat wij te maken hebben met toonveranderingen, die gebonden zijn aan een bepaalde flow.

d. Voor de A I curven geldt, dat de laatste rechtlijnige gedeelten van de curve ongeveer evenwijdig aan elkaar verlopen. Wij kunnen uit dit verschijnsel geen bepaalde conclusies trekken.

e. De rechtlijnige gedeelten vóór de knik divergeren (duidelijk te zien bij F1-Fr curven). Met andere woorden: In de volgorde A I 1, 2, 3, 4, 5 zal bij eenzelfde flow-toename een steeds grotere frequentie-toename optreden.

Nu volgt de bespreking van de resultaten van de B I proeven. Bij één bepaalde flow en trekkracht 0 g wordt de mediaanwaartse kracht geleidelijk opgevoerd van 0 tot 40 mm Hg. Dit wordt gedaan voor de flows 1, 2, .... 6 atm. De gemeten F1-, Ps- en Fr-waarden worden grafisch uitgezet.

## II Bespreking van de B I Mwk-Fr curven.

De punten 1-4 gelden voor B I Mwk-Fr curven in het algemeen. Punt 5 heeft betrekking op de B I Mwk-Fr curven van preparaat S 13088.

1 De curven liggen, wat de volgorde betreft, in het algemeen goed gerangschikt volgens grootte van de flow.

Voorbeeld: B I Mwk-Fr curven van preparaten S 13153, S 13310, S 13088 (fig. 12, 21, 3p).

2 Bij opvoeren van de Mwk zal in het algemeen de frequentie stijgen.

Voorbeeld: B I Mwk-Fr curven van preparaten S 13153, S 13310, S 13088 (fig. 12, 21, 30).

3 Verloop van de B I Mwk-Fr curven in het algemeen.

In het begin is er een vloeiend verlopend gedeelte met de convexiteit naar links-boven. Hierop volgt een rechtlijnig gedeelte. De lijn loopt *niet* horizontaal (bijv. S 13088 curven, fig. 30) of *wel* horizontaal (bijv. S 13310 curven, fig. 21). Bij de S 13153 curven (fig. 12) loopt de rechte lijn eerst schuin omhoog en daarna horizontaal. De rechtlijnige stukken lopen ongeveer parallel (zie de curven



van de genoemde preparaten). Zolang wij nog zijn bij het vloeiend verlopende stuk van de curve, zal opvoeren van de Mwk de frequentie steeds minder doen stijgen. Anders gezegd: *Bij de borsttonen zal opvoeren van de Mwk de frequentie relatief sterker doen stijgen dan bij de lagere middentonen* Mechanisme:

a. Eerst beweegt de hele stemplooi mee, ook het deel craniaal (boven) de processus vocalis (verg. V. 2. 2. punt B). De stemspleet heeft nu (in voor-achterwaartse richting) de grootste afmeting. Nu worden de laagste borsttonen geproduceerd.

b. Door geleidelijk opvoeren van de Mwk zullen steeds meer caudaal gelegen niveaus van de processus vocales elkaar raken. Het slijmvlies craniaal van de processus vocales zal niet meer meebewegen, waardoor de stemspleet korter wordt en hogere borsttonen worden geproduceerd.

c. Tenslotte zullen de processus vocales elkaar raken over het gehele mediale oppervlak. Van nu af aan zal opvoeren van de Mwk maken, dat een steeds groter deel van de mediale oppervlakken van de stemplooien, gelegen vóór de processus vocales, elkaar raken. Dit komt neer op een verkorten van de stemspleet, waardoor dus nog hogere tonen, namelijk hogere borsttonen en lagere middentonen, worden voortgebracht.

Men kan zich nu indenken, dat vermeerdering van de Mwk bij a meer effect heeft dan bij c. Bij de borsttonen zal opvoeren van de Mwk dus meer invloed hebben op de frequentie (frequentie-stijging) dan bij de lagere middentonen.

d. Tenslotte zal opvoeren van de Mwk niet meer aanleiding geven tot het vergroten van het contactoppervlak tussen de stemplooien vóór de processus vocales. De stemspleet zal tenslotte niet meer korter worden. Van nu af aan zal bij opvoeren van de Mwk de frequentie niet meer stijgen. Wij hebben nu het horizontale stuk van de curve bereikt.

Op grond van het mechanisme mogen wij veronderstellen, dat elke schuine lijn *tenslotte* gevolgd zal worden door een horizontale lijn, als de Mwk maar voldoende wordt opgevoerd (bijv. S 13153 B I 2, 3, 5 Mwk-Fr curven, fig. 12).

Waarom de curven in schuine richting rechtlijnig verlopen, kunnen wij niet verklaren. Ook uit het parallelle verloop van deze rechtlijnige stukken kunnen wij geen bepaalde conclusie trekken.

4. Is eenmaal het stadium bereikt, dat (uitsluitend) opvoeren van de Mwk de frequentie niet meer doet



stijgen dan zal men, om dit tòch te kunnen bereiken, een bepaalde Mwk moeten combineren met opvoeren van de trekkracht (op deze wijze worden de B II proeven immers uitgevoerd).

Het bovenstaande is een verklaring voor het mechanisme bij het zingen van falsettonen. Op een gegeven ogenblik zal niet meer kunnen worden volstaan met contractie van de adductiespieren en de *musculus thyreo-arytaenoideus externus*. De spanning van de stemplooiën zal ook moeten worden verhoogd door contractie van de *musculus cricothyreoideus* en *musculus vocalis* (*musculus thyreo-arytaenoideus internus*).

Wil men bij de B II proeven de *hoogste* (falset)tonen bereiken, dan zal men (bij de verschillende flows) die Mwk, vanwaar af een *uitsluitend* opvoeren van de Mwk geen resultaat meer heeft, moeten combineren met opvoeren van de trekkracht (voorbeeld: S 13088 B II curven, fig. 30).

**5** Bespreking van de S 13088 B I Mwk-Fr curven (fig. 30). (De gegevens van dit preparaat staan vermeld onder III. 0).

a. De curven liggen op volgorde volgens grootte van de flow (de curve van een hogere flow ligt meer naar links-boven verschoven) (1).

De frequentie van de laagste borsttoon (die het eerst wordt voortgebracht) is bij een hogere flow hoger. (2).

De helling van het vloeiend verlopende stuk van de curven wordt in de volgorde 1, 2, 3, ... 6 steeds groter (3).

Uit (1) en (2) blijkt, dat in het algemeen bij eenzelfde Mwk een hogere frequentie wordt bereikt bij een grotere flow. Uit (3) blijkt, dat opvoeren van de Mwk, bij een grotere flow, meer invloed heeft op de frequentie dan bij een kleinere flow.

b. Het verloop van de curven.

De curven 3, 4, 5 en 6 zijn normale Mwk-Fr curven. Een vloeiend verlopend stuk wordt gevolgd door een horizontale lijn. De curven 1 en 2 bestaan ook uit deze 2 onderdelen, echter voorafgegaan door een horizontaal lineair stuk.

Waarom beginnen de curven 1 en 2 met een horizontale rechte lijn? De pincetpunten liggen niet onmiddellijk tegende *processi vocales* aan. Knijpt men de pincetbenen naar elkaar toe, dan zal in het begin hiermee slechts worden bereikt, dat het weefsel tussen pincetpunt en *processus vocalis* samenge-drukt wordt. Pas als een bepaalde mate van com-

pactheid van dit weefsel is bereikt, zal verder opvoeren van de Mwk de processi vocales mediaanwaarts duwen. Door verkorting van het bewegende deel van de stemplooien zal de frequentie stijgen.

Waarom wordt bij curven 3, 4, 5 en 6 het horizontale beginstuk overgeslagen? Bij de grotere flows (3, 4, 5, 6 atm) wordt tengevolge van de grotere Ps de stemplooi massa meer craniaalwaarts gedrukt. Kennelijk is dit voldoende om het weefsel tussen pinetpunt en processus vocalis diè bepaalde compactheid te geven, die nodig is voor het voortgeleiden van de druk. Bij deze grotere flows ziet men dan ook, dat opvoeren van de Mwk, *reeds van het begin af*, de stemspleet verkort en de frequentie doet oplopen. Vandaar dat bij de grotere flows (3-6 atm) onmiddellijk begonnen wordt met het vloeiend omhoogverlopende stuk.

Het punt, van waar uitsluitend vergroting van de Mwk geen invloed meer heeft op de frequentie, is voor de verschillende curven in de volgorde 1, 2 ... 6 steeds meer naar links-boven verschoven. Anders gezegd: De hoogste toon, die bereikt wordt door uitsluitend de Mwk op te voeren, ligt bij een grotere flow hoger; deze toon wordt (bij een grotere flow) bereikt bij een lagere Mwk (vergelijk curven 1, 3, 5, 6 onderling en 2, 4 onderling). Wil men de frequentie verder opvoeren, dan zal men bij een grotere flow, reeds bij een *lagere* waarde van de Mwk, moeten overgaan tot opvoeren van de trekkracht.

### III Bespreking van de B I Mwk-Ps curven.

De punten 1, 2, 3 gelden voor deze curven in het algemeen.

1 De curven liggen, wat de volgorde betref, goed gerangschikt volgens grootte van de flow. Voorbeeld: B I Mwk-Ps curven van de preparaten S 13153 (fig. 13), S 13310 (fig. 22), S 13088 (fig. 31).

2 Opvoeren van de Mwk zal de Ps doen stijgen. Voorbeeld: B I Mwk-Ps curven van de preparaten S 13153 (fig. 13), S 13310 (fig. 22), S 13088 (fig. 31).

3 Verloop van de B I Mwk-Ps curven in het algemeen.

In het begin is er een vloeiend verlopend gedeelte met de convexiteit naar links-boven. Hierop volgt een rechte lijnig stuk. De lijn loopt niet horizontaal (bijv. S 13088 curven (fig. 31) of wel horizontaal bijv. S 13310 curven, fig. 22). Bij de S 13153 curven (fig. 13) loopt de rechte lijn eerst schuin omhoog en

daarna horizontaal. De rechtlijnige gedeelten lopen ongeveer parallel (bijv. S 13153, S 13310, S 13088 curven).

#### IV *Bespreking van de B I Ps-Fr curven.*

De punten 1-3 gelden voor B I Ps-Fr curven in het algemeen. De punten 4-6 hebben betrekking op de B I Ps-Fr curven van de preparaten: S 13153, S 13310, S 13088.

1. In het algemeen behoort bij een hogere Ps een hogere frequentie.

Voorbeeld: B I Ps-Fr curven van de preparaten S 13153 (fig. 14), S 13310 (fig. 23), S 13088 (fig. 32).

2. Het verband tussen Ps en Fr bestaat uit één of meer rechtlijnige stukken. Voorbeeld: B I Ps-Fr curven van de preparaten S 13153 (fig. 14), S 13310 (fig. 23), S 13088 (fig. 32). Een verklaring voor dit rechtlijnige verband kunnen wij niet geven.

3. In het algemeen liggen de curven, wat de volgorde betreft, gerangschikt volgens grootte van de flow.

Voorbeeld: B I Ps-Fr curven van de preparaten S 13153 (fig. 14), S 13088 (fig. 32). Wij zien, dat als de Ps gelijk is, bij een grotere flow een hogere frequentie optreedt.

4 Bespreking van de S 13153 B I Ps-Fr curven (fig. 14). De gegevens van dit preparaat staan vermeld onder III. 0).

Bij de B I en B II proeven liggen de pincetpunten lateraal tegen de processus vocales aan (bij de A I en A II proeven liggen de pincetpunten iets meer dorsaal).

Onafhankelijk van de flow bestaat *hetzelfde* lineaire verband tussen Ps en frequentie. Wij zien wel, dat overeenkomstige punten, behorende bij een hogere flow, hoger op de lijn liggen. De punten behorende bij flow 1, 2, 3, ... 6 atm, reiken respectievelijk van  $a_1$  tot  $a_2$ , van  $b_1$  tot  $b_2$ , van  $c_1$  tot  $c_2$ , ... van  $f_1$  tot  $f_2$ .

Mechanisme: Bij deze 6 flows fungeert kennelijk eenzelfde niveau van de stemplooiën als rand van de stemspleet; het bewegingsmechanisme verandert bij alle flows ook slechts gradueel en steeds op dezelfde wijze. Daarom is, onafhankelijk van de flow, het verband tussen Ps en frequentie steeds dezelfde. Waarom dit verband precies rechtlijnig is, kunnen wij niet verklaren;

In het begin van de B I Ps-Fr curven treden bij alle

6 flows toonsprongen op. (Ook nu weer ziet men, dat de hogere frequentie gepaard gaat met een lagere Ps).

**5** Bespreking van de B I Ps-Fr curven van S 13310 (fig. 23). (De gegevens van dit preparaat staan vermeld onder III. 0).

De A I, A II, B I, B II proeven zijn in één zitting gedaan. De curven bestaan uit 1, 2 of 3 rechtlijnige gedeelten. Bestaan ze uit 2 of 3 rechtlijnige gedeelten, dan ziet men een knik bij  $\pm 225$  Hz en  $\pm 315$  Hz. Hebben wij hier te maken met een plotselinge toonverandering, die gebonden is aan deze 2 bepaalde frequenties en zou dit verschijnsel samenhangen met de koppeling tussen larynxpreparaat en het subglottische systeem?

Zeer merkwaardig is het volgende: Terwijl de B I Ps-Fr curven zo'n ongewoon verloop hebben, ziende B I Mwk-Ps curven er volkomen normaal uit (vloeiend verlopend beginstuk met daaropvolgend een rechtlijnig eindstuk).

**6** Bespreking van de S 13088 B I Ps-Fr curven (fig. 32). (De gegevens van dit preparaat staan vermeld onder III. 0).

*Verloop van de curven.*

Deze curven lopen niet rechtlijnig (zoals normaal het geval is, zie B I Ps-Fr curve van de preparaten S 13153 (fig. 14) en S 13310 (fig. 23).

De curven 1 en 2 bestaan uit een horizontaal verlopend beginstuk. Vervolgens loopt de lijn hellend omhoog om tenslotte weer horizontaal te eindigen. Achtereenvolgens zien wij dus, dat drukverhoging niet gepaard gaat met frequentiestijging, dat druk- en frequentiestijging met elkaar gepaard gaan en tenslotte dat er wel drukverhoging, echter geen frequentiestijging optreedt.

De curven 3, 4, 5, 6 verlopen in principe gelijk als curve 1, alleen mist men het horizontale beginstuk.

Hoe verklaart men het horizontale beginstuk van curve 1? Wij zien, dat het horizontale stuk van curve 1 ongeveer ligt bij 100 Hz. In het begin zien wij dus, dat bij vergroten van de Mwk de frequentie  $\pm 100$  Hz blijft. Waarschijnlijk hangt dit verschil samen met de koppeling van de larynx aan het subglottische systeem (verg. III. 2. 1 punt 3 f).

Hoe verklaart men het hellend lineaire stuk? De pincetpunten liggen niet onmiddellijk tegen de processi vocales aan. Als de weefselmassa tussen pincetpunt en processus vocalis voldoende compact ge-

drukt is, zal bij opvoeren van de Mwk de druk wel naar de processus vocalis worden voortgeleid en zal de processus vocalis mediaanwaarts bewegen. Nu ziet men, dat tengevolge van opvoeren van de Mwk een verkleining en verkorting van de stemspleet optreedt. Ps-stijging gaat nu dus gepaard met frequentiestijging. Waarom echter dit verband precies lineair is, kunnen wij niet verklaren.

Hoe verklaart men het horizontale eindstuk van de curven 1, 2, 4 en 5? Wij zien nu, dat bij de curven 1, 2, 4 en 5 de frequentie ongeveer respectievelijk  $\pm 100$  Hz,  $\pm 200$  Hz,  $\pm 250$  Hz en  $\pm 300$  Hz blijft, terwijl de Mwk opgevoerd wordt. Waarschijnlijk hangt ook dit verschijnsel samen met de koppeling van de larynx aan het subglottische systeem.

### III. 2. 4. BESPREKING VAN DE RESULTATEN BIJ HOGERE MIDDEN- EN FALSETTONEN.

De hogere midden- en falsettonen hebben wij bij de A II en B II proeven verkregen. Achtereenvolgens zal de bespreking volgen van de A II curven, B II T-Fr curven, BII T-Ps curven, B II Ps-Fr curven.

#### I *Bespreking van de A II curven.*

Bij matige Mwk en een bepaalde trekkracht wordt de flow opgevoerd van 1-6 atm (65 tot 315 cm<sup>3</sup>/sec) met sprongen van een  $\frac{1}{2}$  atm. De proef wordt herhaald, waarbij dezelfde Mwk wordt gecombineerd met andere trekwaarden.

De punten 1-5 gelden voor de A II curven in het algemeen. De punten 6 en 7 hebben betrekking op A II curven van de preparaten S 13153 en S 13310.

1 Het onderlinge verband tussen flow, Ps en frequentie bestaat uit rechte lijnige gedeelten. Bij de A II curven komt de volgorde in het algemeen goed overeen met de grootte van de flow.

Voorbeeld: A II curven van S 13153 (fig. 9-11). S 13310 (fig. 18-20), S 13088 (fig. 27-29). Wij kunnen geen verklaring geven voor het feit, dat dit onderlinge verband precies lineair is.

2 Tussen twee rechte lijnige gedeelten van dezelfde curve treedt soms een toonsprong op.

Voorbeeld: A II curven van de preparaten S 13153 (fig. 9-11) en S 13088 (fig. 27-29).

Mechanisme: Bij de plotselinge toonverandering treedt een ander niveau van de stemplooien als rand van de stemspleet op en verandert het bewegingsmechanisme van de stemplooien. (Ook nu weer ziet

men, dat de hogere frequentie gepaard gaat met de lagere Ps).

Nu is het ons duidelijk, dat een zanger tijdens het zingen in falsetregister - als hij de flow geleidelijk opvoert en de inwendige larynxspieren in een bepaalde stand fixeert - onder bepaalde omstandigheden moeilijkheden heeft om de toonovergang geleidelijk te doen verlopen. Op deze ogenblikken zal verandering van contractietoestand van de inwendige larynxspieren en verandering van de flow moeten plaats hebben, opdat de toonovergang toch geleidelijk verloopt.

3 Soms ziet men bij de A II curven, dat de hogere middentonen en falsettonen mooi van elkaar gescheiden zijn.

Voorbeeld: Bij de S 13310 A II curven (fig. 18-20) ziet men, dat de curven 1, 2, 3 hogere middentonen en dat de curven 4 en 5 falsettonen omvatten. Bij de S 13088 A II curven (fig. 27-29) ziet men, dat de curven 1 en 2 bestaan uit 2 rechthoekige gedeelten, gescheiden door een registerovergang. Het lager gelegen traject bestaat uit hogere middentonen; het hoger gelegen traject uit falsettonen. (Ook bij curve 3 ziet men een aanduiding van dit verschijnsel). Bij dit laatste voorbeeld zien wij dus telkens een registerovergang optreden tussen hogere middentonen en falsettonen.

4 Als de stemplooien evenhoog staan, zal bij eenzelfde flow en in hetzelfde register een grotere trekwaarde gepaard gaan met een hogere frequentie en een grotere subglottische druk.

Voorbeeld: S 13153 A II Ps-F1 en F1-Fr curven (fig. 10, 11); S 13088 A II Ps-F1 en F1-Fr curven (fig. 28, 29) (bij preparaten S 13153 en S 13088 is er geen niveauverschil tussen de stemplooien).

Mechanisme: Tengevolge van opvoeren van de trekkracht:

1. zal de effectieve breedte van de stemspleet kleiner worden (als de stemplooien evenhoog staan) en zal dus de Ps stijgen;
2. zal de randspanning van de stemplooien groter worden. Hierdoor wordt de bewegende massa in zijn bewegingen afgeremd. De massa die beweegt wordt kleiner; de amplituden worden kleiner, waardoor de frequentie stijgt.

Als het niveauverschil tussen de stemplooien groot is, zal bij eenzelfde flow een grotere trekwaarde gepaard gaan met een hogere frequentie. De Ps is nu echter lager.

Voorbeeld: S 13310 A II Ps-F1 en F1-Fr curven (fig. 19, 20).

Mechanisme: Bij opvoeren van de trekkracht,

1. zal de stemspleet in horizontale richting nauwer, maar in verticale richting wijder worden. Bij deze mate van niveauverschil overweegt de tweede factor, waardoor de Ps daalt.

2. zal de randspanning van de stemplooien groter worden. De bewegende massa wordt kleiner en de frequentie stijgt.

Het hangt van de mate van niveauverschil af, welke van de 2 factoren overweegt (horizontale stemspleetvernaauwing of verticale stemspleetverwijding). Men kan zich indenken, dat bij een bepaalde mate van niveauverschil de 2 factoren elkaar juist opheffen. In dit bepaalde geval zal bij opvoeren van de trekkracht de frequentie stijgen en de Ps ongeveer gelijk blijven.

5. Als men bij een grotere trekkracht eenzelfde frequentie wil bereiken, zal men kunnen volstaan met een kleinere flow.

Voorbeeld: S 13088 A II 1 en 2 F1-Fr curven (fig. 29); S 13153 A II F1-Fr curven (fig. 11, de laatste lineaire trajecten van curven 1, 2, 3); S 13310 A II F1-Fr curven (fig. 20, verg. de curven 1, 2, 3 met curven 4, 5).

6. Bespreking van de S 13153 A II curven (fig. 9-11). (de gegevens van dit preparaat staan vermeld onder III. 0).

In het algemeen verwacht men, dat door opvoeren van de trekkracht de frequentie stijgt. De randspanning van de stemplooien wordt immers groter. Hierdoor wordt tevens de bewegende massa kleiner en zal de frequentie stijgen. Voert men echter bij dit preparaat de trekkracht van 130 tot 200 g op, dan ziet men de frequentie juist dalen.

Mechanisme: Als men de trekkracht opvoert van 130 tot 200 g, treedt het mechanisme op, dat gelijk is aan dat bij een toonsprong. Er treedt een verandering op in het gedrag van de stemplooien en wel zodanig, dat nu juist een grotere massa meetrilt. De frequentie daalt dus.

7. Bespreking van de S 13310 A II curven (fig. 18-20). (De gegevens van dit preparaat staan vermeld onder III. 0).

1. Men ziet, dat de curven 1, 2 en 3 parallel verlopen; dit is eveneens het geval met de curven 4 en 5. Wij kunnen geen verklaring vinden voor dit parallel verloop van de curven.



2. Als men de flow met een bepaalde constante waarde opvoert,

- stijgt de Ps bij de proeven 4, 5 minder dan bij de proeven 1, 2, 3; (a).

- stijgt de frequentie bij de proeven 1, 2, 3, 4, 5 met ongeveer dezelfde waarde. (b).

Mechanisme:

ad (b). Bij opvoeren van de flow met een bepaalde constante waarde stijgt de randspanning in de verschillende gevallen in ongeveer gelijke mate, waardoor de frequentie niet ongeveer dezelfde waarde stijgt. Dit geldt zowel voor de hogere middentonen (curven 1, 2, 3) als voor de falsettonen (curven 4, 5).

ad (a). Bij de falsettonen (curven 4, 5) stijgt de Ps dus minder als men de flow met dezelfde waarde opvoert. Verschillende factoren spelen een rol op de Ps: flowstijging en mate van niveauverschil.

1. De flowstijging geeft in het algemeen stijging van de Ps.

2. Bij deze mate van niveauverschil treedt hoogstwaarschijnlijk het volgende verschijnsel op: Hoe meer men de trekkracht opvoert, hoe meer de factor van de verticale stemspleetverwijding zal overwegen over de factor van de horizontale glottisvernauwing. De factor van de flowstijging is voor de toestanden 1, 2, 3 en 4, 5 even sterk. Tengevolge van het grote niveauverschil zal echter bij 4, 5 de verticale stemspleetverwijding sterker over de horizontale glottisvernauwing overheersen, dan bij 1, 2, 3 het geval is. Vandaar het verschijnsel, dat de Ps bij 4, 5 minder stijgt dan bij 1, 2, 3 als men de flow met dezelfde waarde opvoert.

## II. Bespreking van de B II T-Fr curven.

De punten 1 en 2 gelden voor B II T-Fr curven in het algemeen.

1. De volgorde van de B II T-Fr curve komt in het algemeen goed overeen met de grootte van de flow. Voorbeeld: B II T-Fr curven van S 13153 (fig. 12), S 13088 (fig. 30), S 13310 (fig. 21). Bij het tweede preparaat treedt wat onregelmatigheid op bij de hogere flows (4, 5, 6 atm) en hoge trekwaarden. Bij het derde preparaat zien wij hetzelfde bij de flows: 4 atm, 5 atm. Wordt bij deze 2 preparaten de grens van het fysiologische bereikt bij deze hoge trek- en flowwaarden?

2. In het algemeen zal opvoeren van de trekkracht bij een bepaalde Mwk de frequentie doen stijgen.



Voorbeeld: B II T-Fr curven van S13153 (fig. 12), S 13310 (fig. 21), S 13088 (fig. 30).

Mechanisme: Door opvoeren van de trekkracht stijgt de randspanning van de stemplooien. De frequentie stijgt dus en de amplituden worden kleiner.

3. *Het verband tussen de mate van niveauverschil tussen de stemplooien en het verloop van de B II T-Fr curven.*

Er kan worden vastgesteld, dat een niveauverschil niet te zien is, zolang de stemplooien in rust zijn. Het niveauverschil blijkt pas bij bewegingen van de stemplooien tijdens geluidsproductie. Dit geldt ook als het niveauverschil groot is.

Bij niveauverschil is essentieel, dat één van de stemplooiranden meer gespannen is dan de andere. De meer gespannen stemplooi blijkt te overheersen bij de geluidsproductie, daar de bewegingen van deze stemplooi minder gedempt zijn (verg. pag. III. 3. 2, aanleiding tot de draadproef).

Tijdens onze proeven zien wij, dat door opvoeren van de trekkracht het niveauverschil toeneemt. Wij zien dus, dat een horizontale stemspleetvernaauwing gepaard gaat met een verticale stemspleetverwijding.

1. *Het verloop van de B II T-Fr curven als er geen niveauverschil is tussen de stemplooien (fig. 38).*

In principe verloopt de curve als volgt: Na een lineair beginstuk volgt een vloeiend verlopende lijn, die met een steeds flauwere helling naar rechts omhoog loopt en in het begin steiler verloopt dan het voorafgaande, lineaire stuk. Tussen de 2 stukken van de curve zien wij een knik. In de omgeving van de knik kunnen één of meer registerovergangen optreden.

Voorbeeld:

1. S 13153 B II T-Fr curven (fig. 12). Bij de curven 1 en 2 zien wij geen registerovergang bij de knik; bij de overige curven is dit wel het geval.

2. S 13088 B II T-Fr curven (fig. 30). Bij de curven 1, 2, 3, 4, 6 zien wij geen registerovergang bij de knik. Bij curve 5 is het rechtlijnige beginstuk overgeslagen en begint de curve onmiddellijk met het vloeiend verlopende stuk.

ad 1. Van de S 13153 B II T-Fr curven (fig. 12) verlopen de curven 4 en 6 aan het einde wat afwijkend (horizontaal). Dit komt wel eens voor bij hoge flows en hoge trekwaarden.

Opvallend is ook, dat de curven 4, 5, 6 tussen 50 en

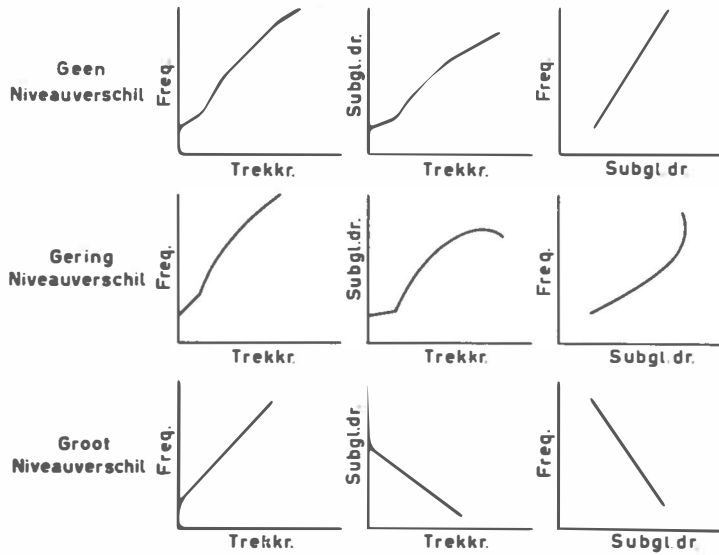


Fig. 38. Het verband tussen trekkracht-frequentie, trekkracht-subglottische druk, subglottische druk-frequentie bij afwezigheid van niveauverschil, gering niveauverschil en groot niveauverschil tussen de stemplooiën (schematisch).

200 g trekkracht ongeveer samenvallen. Voor de 3 hoogste flows geldt dus, dat bij opvoeren van de trekkracht van 50 tot 200 g de frequentie op vrijwel identieke wijze stijgt. Bij dit traject van de 3 curven fungeert kennelijk éénzelfde niveau van de stemplooiën als rand van de stemspleet.

ad 2. Ook aan de S 13088 B II T-Fr curven (fig. 30) vertonen de curven 4 en 6 aan het einde hetzelfde afwijkende verloop (horizontale verloop).

*Verklaring van het verloop van de curve:*

1. In onbelaste toestand zal (als er geen niveauverschil is) de spanning van de stemplooiranden ongeveer even laag zijn.
2. Voert men de trekkracht zeer geleidelijk op, dan zullen de stemplooiranden (de ligamenta vocalia) geleidelijk rekken. De spanning van de stemplooiranden stijgt geleidelijk, waardoor de frequentie stijgt. Wij begrijpen dus, dat in het begin de frequentie stijgt bij opvoeren van de trekkracht. Waarom dit verband rechtlijnig is, kunnen wij echter niet verklaren.
3. Bij trekkracht tussen 20 en 25 g zal de overgang plaats hebben van de rekbare naar de on-rekbare toestand van de stemplooiën (ligamenta vocalia).

Hierdoor ontstaat de knik tussen het lineaire beginstuk en het vloeiend verlopende deel van de curve. Tijdens deze overgang heeft een verandering plaats van de bewegende stemplooi massa. Deze verandering kan geleidelijk of sprongsgewijs optreden. Vandaar dat op dit gedeelte van de curve geen of wel registerovergangen kunnen voorkomen.

4. Na de overgang is de stemplooi dus onrekbaar. Het ligamentum vocale is nu te vergelijken met een onrekbare snaar, die zich in de rand van de stemplooi bevindt.

Waarom is de helling van het lineaire beginstuk flauwer dan die van het aansluitende deel van de vloeiende lijn? Vóór de knik zit de stemplooi (lees: ligamentum vocale) in de rekbare toestand. In deze toestand neemt met het toenemen van de spanning ook de lengte toe. Deze factoren werken elkaar tegen, in die zin, dat een toename van de spanning frequentie verhogend werkt en een toename van de lengte frequentie verlagend. Vóór de knik is de frequentie stijging dus minder. De helling van het lineaire beginstuk is dus flauwer dan de helling van het stuk, dat onmiddellijk na de knik komt.

De eventuele registerovergang na de knik is op te vatten als nabootsing van de natuurlijke registerovergangen, die soms in vivo optreden bij de overgang tussen midden- en falsetregister (verg. IV. 1.6 en IV. 1.3 punt VIII).

Het vloeiend verlopende deel van de curve (dat na de knik komt) kan men vergelijken met de curve van een onrekbare snaar. Voor dit laatste geldt, voor de grondtoon van de snaar, de volgende formule:

$$Fr = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{m}}$$

Fr = frequentie, in Hz.  
L = lengte van de snaar, in cm  
T = spanning van de snaar, in dynes.  
m = massa van de snaar, in grammen per cm lengte.

De frequentie is dus evenredig met de wortel uit de trekkracht. Horen dus bij elkaar de frequentie F 1 en de trekkracht T 1, dan zal men om een frequentie van 2 F 1 (resp. 4 F 1) te krijgen de T moeten opvoeren tot 4 T 1 (resp. 16 T 1).

Gaat men dit na voor de B II T-Fr curven van een preparaat zonder niveauverschil, dan blijken de gevonden frequentiewaarden iets kleiner te zijn dan men bij een snaar mag verwachten. Dit komt omdat de snaar "volkomen" onrekbaar is, terwijl de stemplooiën ook in onrekbare toestand, toch nog wel iets in lengte toenemen. Voorbeeld:

1. Bij de S 13088 B II 2 proef treden bij T 50 g respectievelijk 200 g de volgende frequenties op: 312 Hz respectievelijk 544 Hz; voor proef 3 zijn de frequenties: 352 Hz respectievelijk 640 Hz.

De overige B II proeven vallen buiten beschouwing. Bij de eerste proef is bij T 200 g de Fr niet meer zuiver af te lezen, terwijl de curven behorende bij de proeven 4, 5, 6 bij 200 g trekkracht reeds afwijkend verlopen (fig. 30).

2. Bij de S 13153 B II 2 proef treden bij T 50 g respectievelijk 200 g de volgende frequenties op: 220 Hz respectievelijk 416 Hz (tabel 11).

Voor proef 1 zijn de frequenties: 182 Hz respectievelijk 395 Hz (tabel 9) en gaat de regel niet op. Bij de proeven 3, 4, 5, 6 is dit niet na te gaan vanwege de registerovergangen (fig. 12).

Er volgt nu een enkele opmerking omtrent de S 13088 B II T-Fr curven (fig. 30): Bij de B II proeven van dit preparaat gaat het er om bij de verschillende flows de hoogste tonen te bereiken. Zoals reeds is gezegd (bespreking van de S13088 BI Mwk-Fr curven, pag. 67 ) blijken bij de B I proeven in de volgorde van 1, 2, 3.....6 de maximale tonen te worden bereikt bij steeds lagere Mwk-waarden. Zoals in dit hoofdstuk is uitgelegd, hangt dit verschijnsel samen met het feit, dat de pincetpunten niet onmiddellijk tegen de processii vocales aanliggen. Om bij de B II proeven telkens de hoogste tonen te bereiken, kan in de volgorde 1, 2, 3,.....6 het opvoeren van de trekkracht geschieden bij een dalende reeks Mwk-waarden van respectievelijk 25, 15, 15, 10, 10, 8 mm Hg.

2 *Het verloop van de B II T-Fr curven bij gering niveauverschil tussen de stemplooien (fig. 38).*

In principe is de curve gelijk aan die, waarbij er geen niveauverschil is tussen de stemplooien. Een lineair beginstuk wordt gevolgd door een vloeiend verlopend stuk. Opvallend is echter, dat het lineaire beginstuk steiler verloopt, waardoor de knik tussen de 2 delen van de curve minder sterk uitgesproken is. Voorbeeld: S 13200 B II 2 T-Fr curve (fig. 33). Men ziet geen registerovergang optreden in de omgeving van de knik.

Wij zien dus, dat het *lineaire beginstuk* in dit geval (niveauverschil) *steiler* verloopt dan wanneer er geen niveauverschil tussen de stemplooien is. *Bij niveauverschil is één van de stemplooien meer gespannen dan de andere.* Voor de meer gespannen stemplooi geldt nu, dat bij opvoeren van de trekkracht de span-

ning van de stemplooirand relatief sterker stijgt immers deze stemplooi is de onrekbare fase dichter genaderd). Aan de curve zien wij, dat de frequentie relatief sterker stijgt bij opvoeren van de trekkracht. Wij komen dus tot de hypothese, mede op grond van de reeds eerder door VAN DEN BERG op theoretische gronden aangenomen "interne koppeling" in de larynx (verg. III. 3.2), dat de stemplooi met de grootste randspanning de leiding heet bij de geluidsproductie.

De hypothese hebben wij kunnen bevestigen door de geluidsproef met een onrekbare draad door één van de stemplooiranden (verg. III. 3.2).

Het verloop van de curve is in het algemeen op dezelfde wijze te verklaren als bij preparaten, waarbij geen niveauverschil tussen de stemplooien te zien is.

3 Het verloop van de B II T-Fr curven bij groot niveau verschil tussen de stemplooien (fig. 38).

Het verband tussen trekkracht en frequentie is lineair (voorbeeld: S 13310 B II T-Fr curven, fig. 21). Met het opvoeren van de trekkracht zal de randspanning van de stemplooien groter worden en zal de frequentie stijgen. Wij kunnen echter niet verklaren, waarom het verband tussen trekkracht en frequentie precies lineair is.

Er volgen nu enkele opmerkingen over de S 13310 T-Fr curven (fig. 21).

De lager gelegen curven betreffen middentonen. De hoger gelegen curven (het tweede deel van de curven 5, 6) betreffen falsettonen. Tussen de 2 delen van de curven 5 en 6 treedt dus telkens een registerovergang op.

Voor de proeven 1, 2, 3, 4 geldt, dat de toonproductie ophoudt bij steeds hogere trekwaarden, respectievelijk: 20, 50, 60, 80 g. Bij de proeven 5 en 6 ziet men bij trekkracht 100 respectievelijk 150 g een registerovergang optreden, voordat hogere tonen worden geproduceerd.

Mechanisme: Bij de flows 65, 125, 190, 250, 315, 350 cm<sup>3</sup>/sec ziet men, dat bij stijgende trekwaarden (resp. 20, 50, 60, 80, 100, 150 g) een poging wordt gedaan de bewegende massa opnieuw te veranderen. Dit lukt bij de eerste 4 flows niet; dit lukt echter bij de 2 hoogste flows wel. Daarom ziet men bij de 2 hoogste flows, dat na een registerovergang de toonproductie nog doorgaat (falsettonen).

### III. Bespreking van de B II T-Ps curven.

1. Bij de B II T-Ps curven komt de volgorde in het

algemeen goed overeen met de grootte van de flow. Voorbeeld: de curven van S 13153 (fig. 13), S 13310 (fig. 22). Bij het eerste preparaat zien wij, dat curve 6 bij een flow van 6 atm ( $315 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ) en bij een trekkracht groter dan 150 g niet voldoende omhoog buigt.

2. Het verband tussen de mate van niveauverschil en het verloop van de B II T-Ps curven.

1. Het verloop van de B II T-Ps curven als er geen niveauverschil tussen de stemplooien te zien is (fig. 38).

In principe bestaat de curve uit een rechtlijnig beginstuk en een vloeiend verlopende lijn, die naar rechts omhoog loopt. De helling van de vloeiende lijn wordt steeds flauwer. Tussen de 2 delen van de curve zien wij een knik; na de knik treedt soms een registerovergang op. Voorbeeld:

a. S 13153 B II T-Ps curven (fig. 13); bij de curven 3, 4, 5, 6 zien wij na de knik een registerovergang optreden.

b. S 13088 B II T-Ps curven (fig. 31); bij de curven 1, 2, 3, 4, 6 zien wij na de knik geen registerovergang optreden. Curve 5 zien wij onmiddellijk met het vloeiend verlopende stuk beginnen;

Verklaring van het verloop van de curve: deze verklaring geldt tevens voor alle gevallen, waarbij wel niveauverschil aanwezig is.

1. Staan de stemplooien evenhoog en voert men de trekkracht zeer geleidelijk op van de onbelaste toestand af, dan zal de stemspleet langer worden. In horizontale richting zal de stemspleet echter nauwer worden. De tweede factor overweegt blijkbaar, waardoor de stemspleet geleidelijk kleiner wordt en de Ps stijgt. In het begin zal dus bij opvoeren van de trekkracht de Ps stijgen. Waarom echter het verband tussen trekkracht en Ps precies lineair is, kunnen wij niet verklaren.

Is er *niveauverschil*, dan komt er (bij opvoeren van de trekkracht) bij de 2 factoren: stemspleetverlenging en horizontale stemspleetvernauwing nog een derde factor, namelijk: verticale glottisverwijding. Deze laatste factor zal bij een steeds groter niveauverschil steeds meer overwegen over de horizontale stemspleetvernauwing. Hoe groter het niveauverschil is, hoe minder het lineaire beginstuk omhoog helt. Overschrijdt het niveauverschil een bepaalde maat (groot niveauverschil), dan zal het rechtlijnige beginstuk zelfs *omlaag* hellen (fig. 38).

2. Bij een trekkracht van ruim 20 g, uitgeoefend aan de intacte thyreoïdhoek zal de stemplooi (ligamentum vocale) van de rekbare in de onrekbare toestand overgaan. Hierdoor ontstaat de knik tussen het rechtlijnige beginstuk en het vloeiend verlopende deel van de curve. De verandering van de bewegende stemplooi massa, die tijdens deze overgang plaats heeft, treedt geleidelijk of sprongsgewijs op. Daarom kunnen bij dit gedeelte van de curve wel of geen registerovergangen optreden.

3. Na de knik is de stemplooi onrekbaar en volgt het vloeiend verlopende deel van de curve. Wij gaan nu na: *het verband tussen de mate van niveauverschil en het verloop van het tweede deel van de curve.* Is er geen niveauverschil, dan zal bij opvoeren van de trekkracht een horizontale stemspleetvernaauwing optreden. Is er wel niveauverschil, dan zal bij opvoeren van de trekkracht een horizontale stemspleetvernaauwing gepaard gaan met een verticale stemspleetverwijding. Hoe groter het niveauverschil is, hoe groter de tweede factor wordt.

Is het niveauverschil groot, dan zal bij opvoeren van de trekkracht de stemspleet dus steeds groter worden. Bij een bepaalde mate van niveauverschil zullen de 2 factoren elkaar compenseren; in dit bepaalde geval zal bij opvoeren van de trekkracht de frequentie stijgen, echter de Ps juist gelijk blijven. (Wij beschikken helaas niet over een preparaat, waarbij dit verschijnsel optreedt).

Een enkele opmerking omtrent de S 13153 B II T-Ps curven (fig. 13): De rechtlijnige beginstukken van de curven 1, 2, 3.....6 hellen in deze volgorde steeds sterker omlaag. Dit verschijnsel kan als volgt worden verklaard: Hoe groter de flow, hoe meer in het begin (rekbare toestand van het ligamentum vocale) de factor stemspleetverlenging overweegt over de factor stemspleetvernaauwing. Bij een grotere flow zal de lijn dus sterker omlaag hellen.

Over de S 13088 B II T-Ps curven (fig. 31) willen wij nog het volgende opmerken. Bij de curven 1, 2, 3 komt de volgorde goed overeen met de grootte van de flow. Curve 4 buigt niet voldoende omhoog bij de hogere trekkrachten en de curven 5 en 6 vallen in hun geheel uit de toon. Bij dit preparaat zijn de pin-cetpunten vóór de vierde proef opnieuw ingesteld, zodat de curven 4, 5, 6 niet vergelijkbaar zijn met de curven 1, 2, 3. Bovendien hebben wij kennelijk te maken met een preparaat, waarbij door de combi-



natie: grotere trekkrachten en grotere flows, de grens van het fysiologische is bereikt.

2. *Het verloop van de B II T-Ps curven bij gering niveauverschil tussen de stemplooien (fig. 38).*

Voorbeeld: S 13200 T-Ps curve (fig. 34).

In principe verloopt de curve gelijk als bij afwezigheid van niveauverschil. Er zijn echter verschillen:

1. Het rechtlijnige beginstuk helt minder.

Verklaring: Drie factoren spelen een rol tijdens de rekbare fase van de stemplooi: stemspleetverlenging, horizontale stemspleetvernauwing en verticale stemspleetverwijding. Deze 3 factoren geven respectievelijk Ps-daling, Ps-stijging, Ps-daling. De eerste 2 factoren blijven gelijk, ongeacht de mate van niveauverschil. De derde factor wordt relatief groter, al naar gelang het niveauverschil groter wordt. Met het toenemen van het niveauverschil zal het lineaire beginstuk dus steeds meer neigen tot een horizontaal respectievelijk aflopend verloop; dit laatste is het geval bij groot niveauverschil (fig. 38 en fig. 22, S 13310 B II T-Ps curven).

2. Het vloeiend verlopende stuk van de curve buigt bij de hoge trekwaarden omlaag; met andere woorden: bij opvoeren van de trekkracht boven een bepaalde hoge waarde zal de Ps dalen.

Mechanisme: Wij zitten nu in de onrekbare toestand van het ligamentum vocale. Bij opvoeren van de trekkracht spelen 2 factoren een rol op de Ps: horizontale stemspleetvernauwing en verticale stemspleetverwijding (deze geven resp. Ps-stijging en Ps-daling). De eerste factor blijft evengroot, onafhankelijk van de mate van niveauverschil. De tweede factor daarentegen wordt relatief steeds groter, al naar gelang de trekkracht groter wordt en het niveauverschil groter wordt. Daarom ziet men bij gering niveauverschil, dat bij opvoeren van de trekkracht de Ps steeds minder stijgt om van een bepaalde hoge trekwaarde af te dalen. Is het niveauverschil groot, dan zal de factor verticale stemspleetverwijding zo sterk overwegen, dat reeds van het begin (van de onrekbare toestand) af de Ps daalt bij opvoeren van de trekkracht.

3. *Het verloop van de B II T-Ps curven bij groot niveauverschil tussen de stemplooien (fig. 38).*

Voorbeeld: S 13310 B II T-Ps curven (fig. 22).

In principe is het verband tussen T en Ps rechtlijnig. Beide delen van de curve zijn lineair en lopen in elkaars verlengde (de lijn loopt naar rechts omlaag). Het volgende valt ons op:



1. Het lineaire beginstuk helt nu nog sterker omlaag dan het geval is bij gering niveauverschil. Tevoren is reeds uitgelegd, dat de factor van de verticale stemspleetverwijding zò sterk overweegt, dat reeds van het begin af, (rechtlijnig beginstuk), bij opvoeren van de trekkracht, Ps-daling optreedt.

2. Ook bij het tweede deel van de curve ziet men, dat bij opvoeren van de trekkracht de Ps daalt. De uitleg van dit verschijnsel staat hierboven.

Een verklaring voor het zuiver rechtlijnige verloop van het tweede deel van de curve kunnen wij echter niet geven. Ook voor het feit, dat de 2 rechte lijnen (beginstuk en daaropvolgende stuk) precies in elkaars verlengde verlopen, kunnen wij geen verklaring geven.

Enkele opmerkingen omtrent S 13310 B II T-Ps curven (fig. 22).

De curven van de middentonen lopen ongeveer parallel en de volgorde komt overeen met de grootte van de flow. De curven van de falsettonen lopen ook parallel, maar de volgorde komt niet overeen met de grootte van de flow.

Voor de curven 5 en 6 geldt, dat de helling van het eerste deel van de curve steiler is dan die van het tweede deel. Met andere woorden: eenzelfde vergroting van de trekkracht zal bij het tweede deel van de curve een kleinere Ps-daling geven.

Mechanisme: Tussen de 2 delen van de curven 5 en 6 treedt een registerovergang op. Voor de 2 stem-plooiniveaus, behorende bij curve 5 of 6, geldt nu het volgende: Na de registerovergang zal de factor van de verticale stemspleetverwijding (Ps-daling) ten opzichte van de andere factor (horizontale stemspleetvernauwing, die Ps-stijging geeft) relatief kleiner zijn. Dit zou een verklaring kunnen zijn voor het feit, dat na de registerovergang de Ps minder daalt, als men de trekkracht opvoert.

#### IV. *Bespreking van de B II Ps -Fr curven.*

1. Bij de B II Ps-Fr curven komt de volgorde in het algemeen goed overeen met de grootte van de flow. Voorbeeld: B II Ps -Fr curven van preparaten S 13088 (fig. 32), S 13310 (fig. 23) en de curven 2, 3, 5 van preparaat S 13153 (fig. 14).

2. *Het verband tussen de mate van niveauverschil en het verloop van de B II Ps -Fr curven.*

1. *Het verloop van de B II Ps-Fr curven als er geen niveauverschil is tussen de stemplooien (fig. 38).*

Voorbeeld: B II Ps-Fr curven van de preparaten S 13088 (fig. 32) en S 13153 (fig. 14). In principe verloopt de curve rechtlijnig, de lijn loopt naar rechts omhoog.

Mechanisme: Is er geen niveauverschil tussen de stemplooien, dan geldt het volgende:

1. Bij de *rekbare* toestand van de stemplooi (ligamentum vocale) zal bij opvoeren van de trekkracht de stemspleet langer en nauwer worden. Daar de horizontale spleetvernaauwing overweegt, ziet men dat de Ps stijgt. Bovendien zal bij opvoeren van de trekkracht de spanning van de stemplooiranden toenemen. Hierdoor wordt tevens de trillende massa kleiner en stijgt de frequentie.

Bij de *onrekbare* toestand van de stemplooi zal bij opvoeren van de trekkracht, (horizontale) stemspleetvernaauwing en vergroting van stemplooispanning optreden. Het gevolg zal zijn: Ps-stijging, respectievelijk frequentiestijging.

Wij begrijpen dus, dat zowel in de rekbare als onrekbare toestand, bij opvoeren van de trekkracht, een Ps-stijging gepaard gaat met een frequentiestijging.

2. Wij zien, dat beide delen van de curve rechtlijnig zijn en in elkaars verlengde verlopen. Dit kan alleen als Ps en Fr identiek of evenredig stijgen bij opvoeren van de trekkracht. Dit moet dan voor beide delen van de curve opgaan.

Nu volgen 2 opmerkingen, die betrekking hebben op S 13153 B II Ps-Fr curven (fig. 14).

1. De volgorde van de rechtlijnige curven komt niet goed overeen met de grootte van de flow.

2. De curven 4 en 6 buigen bij de hoge trekwaarden wat af. Bij dit preparaat zijn de omstandigheden: grote flow en grote trekkracht kennelijk al niet meer fysiologisch.

Een enkele opmerking over de S 13088 B II Ps-Fr curven. (Bij de B II proeven gaat het nu om het bereiken van de hoogste tonen bij de verschillende flows). De curven lopen nagenoeg rechtlijnig en liggen, wat de volgorde betreft, goed gerangschikt naar de grootte van de flow.

2. *Het verloop van de B II Ps-Fr curven bij gering niveauverschil tussen de stemplooien (fig. 38).*

Voorbeeld: B II Ps-Fr curve van preparaat S 13200 (fig. 35). In principe bestaat de curve uit een vloeiend

omhoog verlopende lijn met de convexiteit naar rechts-onder.

Mechanisme:

1. Waarom ziet men in de *rekbare* toestand een vloeiend verlopende lijn met de convexiteit naar rechts-onder? Met andere woorden: Waarom zal zolang het ligamentum vocale rekbaar is de frequentie sterker toenemen dan de Ps?

Voor eenzelfde flow geldt in de *rekbare* toestand bij opvoeren van de trekkracht:

1. Dat de randspanning van de stemplooien groter wordt en dat de frequentie dus stijgt.

2. Op de Ps spelen 3 factoren een rol:

a. stemspleetverlenging (Ps-daling), b. horizontale stemspleetvernauwing (Ps-stijging), c. verticale stemspleetverwijding (Ps-daling).

ad 1. De randspanning zal bij opvoeren van de trekkracht toenemen, onafhankelijk van het niveauverschil. De randspanning wordt dus groter in de mate, zoals dit bij afwezigheid van niveauverschil het geval is (X).

ad 2. Is er geen niveauverschil, dan spelen alleen 2 factoren een rol, namelijk a en b, en zoals reeds gezegd, is  $\text{factor } b > \text{factor } a$ . Bij gering niveauverschil spelen 3 factoren een rol: a, b, c. De som van factor a en factor c blijkt (bij dit gering niveauverschil) kleiner te zijn dan factor b, dus  $\text{factor } b > \text{factor } a + \text{factor } c$ . De factoren a en b veranderen in dezelfde mate, onafhankelijk van het niveauverschil. Bij gering niveauverschil zal factor c dus remmend werken op de stemspleetverkleining. Met andere woorden: bij opvoeren van de trekkracht wordt de remmende werking van factor c op de stemspleetverkleining (factor b) steeds groter (Y). Uit (X) en (Y) volgt: bij opvoeren van de trekkracht neemt de randspanning progressief sterker toe, dan de stemspleet verkleint. Met andere woorden: Bij opvoeren van de trekkracht in de *rekbare* toestand neemt de frequentie progressief sterker toe dan de Ps.

2. Waarom ziet men in de *onrekbare* toestand een vloeiend verlopende lijn met de convexiteit naar rechts-onder? Met andere woorden: waarom zal in de *onrekbare* toestand de frequentie progressief sterker toenemen dan de Ps?

Voor eenzelfde flow geldt in de *onrekbare* toestand als men de trekkracht opvoert:

1. Dat de randspanning van de stemplooien groter wordt en dat de frequentie dus stijgt.

2. Twee factoren spelen een rol op de Ps:

a. horizontale stemspleetvernauwing (Ps-stijging) en b. verticale stemspleetverwijding (Ps-daling).

ad 1. De randspanning zal bij opvoeren van de trekkracht, bij de verschillende graden van niveauverschil, in dezelfde mate toenemen. Met andere woorden: de frequentie zal in dezelfde mate stijgen als het geval is bij afwezigheid van niveauverschil (X).

ad 2. Bij deze mate van niveauverschil (*gering* niveauverschil) zal bij alle trekwaarden factor a > factor b zijn. Het is logisch, dat met het opvoeren van de trekkracht de invloed van factor b relatief sterker toeneemt dan die van factor a. Met andere woorden: bij gering niveauverschil zal de verticale stemspleetverwijding remmend werken op de overwegende invloed van de horizontale stemspleetvernauwing en deze remmende werking wordt steeds groter.

Is het niveauverschil *groot*, dan zal de verticale stemspleetverwijding een overheersende rol spelen. In dit geval zal de Ps dalen bij opvoeren van de trekkracht.

Is er *geen* niveauverschil, dan speelt alleen de horizontale stemspleetvernauwing een rol op de Ps. Bij *gering* niveauverschil komt er nog een remmende factor bij en deze remmende factor is progressief (Y). Uit (X) en (Y) volgt, dat bij opvoeren van de trekkracht de frequentie progressief sterker toeneemt, dan de stemspleet verkleint. Met andere woorden: bij opvoeren van de trekkracht in de onrekbare toestand neemt de frequentie progressief sterker toe dan de Ps.

Wij hebbendus aannemelijk gemaakt, dat de 2 delen van de Ps-Fr curve bestaan uit een vloeiende lijn met de convexiteit naar rechts-onder. Waarom echter de 2 delen van de curve één vloeiende lijn vormen, kunnen wij niet verklaren.

Het verloop van de Ps-Fr curve is ook af te leiden uit het verloop van de S 13200 T-Fr en T-Ps curven (fig. 33, 34). Wij zien, dat de 2 delen van de T-Ps curve minder steil verlopen dan de overeenkomstige delen van de T-Fr curve. Zowel voor de rekbare als onrekbare toestand geldt dus bij opvoeren van de trekkracht, dat de frequentie progressief sneller stijgt dan de Ps. Dit laatste blijkt inderdaad ook uit het verloop van de Ps-Fr curve.

3. Het verloop van de B II Ps-Fr curven bij *groot* niveauverschil tussen de stemplooien (fig. 38). Voorbeeld: De curven van preparaat S 13310 (fig. 23).

De curven verlopen in principe rechtlijnig. De rechte lijnen lopen naar links omhoog.

Mechanisme: Waarom gaat bij opvoeren van de trekkracht frequentiestijging gepaard met Ps-daling?

1. In de *rekbare* toestand zal bij opvoeren van de trekkracht,

1. de randspanning van de stemplooien groter worden, Hierdoor stijgt de frequentie (X).

2. Drie factoren spelen een rol op de Ps:

a. stemspleetverlenging (Ps-daling), b. horizontale stemspleetvernauwing (Ps-stijging), c. verticale stemspleetverwijding (Ps-daling). De factoren a en b zullen bij opvoeren van de trekkracht steeds in dezelfde mate veranderen, *onafhankelijk* van de mate van niveauverschil. Factor c echter zal bij toename van het niveauverschil progressief groter worden. Is het niveauverschil groot, dan zal factor c zo sterk overheersen, dat reeds vanaf het begin de Ps daalt. Met andere woorden: in de *rekbare* toestand zal de Ps dalen bij opvoeren van de trekkracht (Y). Uit (X) en (Y) volgt, dat in de *rekbare* toestand de Ps-daling gepaard gaat met frequentiestijging. Waarom dit verband precies lineair is, kunnen wij echter niet verklaren.

2. In de *onrekbare* toestand zal bij opvoeren van de trekkracht de randspanning van de stemplooien groter worden en de frequentie stijgen (a). Op pag. 86 is reeds uitgelegd, waarom de Ps daalt bij opvoeren van de trekkracht (b). Uit (a) en (b) volgt dus, dat in de *onrekbare* toestand, bij opvoeren van de trekkracht, de Ps-daling gepaard gaat met frequentiestijging. Wij kunnen echter niet verklaren, waarom dit verband precies lineair is. Ook kunnen wij niet verklaren, waarom de 2 delen van de Ps-Fr curve precies één rechte lijn vormen.

Het verloop van de Ps-Fr curve is ook *af te leiden* uit het rechtlijnige verloop van de T-Fr en T-Ps curven. Wij zien aan deze 2 laatste curven, dat bij opvoeren van de trekkracht de frequentie stijgt en de Ps daalt en dat het verband in beide gevallen lineair is. De helling van de rechtlijnige Ps-Fr curve zal afhangen van de mate van Ps-daling en frequentiestijging.

Nu volgen enkele opmerkingen, die betrekking hebben op de S 13310 B II Ps-Fr curven (fig. 23).

1. De curven 1, 2, 3, 4 en de lager gelegen delen van 5 en 6 lopen ongeveer parallel. Dit is eveneens

het geval met de hoger gelegen delen van de curven 5 en 6.

2. De lijnen, die betrekking hebben op de middentonen lopen minder steil dan die van de falsettonen. Bij de hoge trekwaarden, die betrekking hebben op het hoger gelegen deel van de curven 5 en 6 zal de frequentie relatief sterker stijgen of de Ps relatief sterker dalen.

Mechanisme: Tussen de 2 delen van de curven 5 en 6 treedt een registerovergang op. Bij opvoeren van de trekkracht,

a. zal de randspanning van de stemplooien voor en na de registerovergang in dezelfde mate toenemen;

b. zal de verticale stemspleetverwijding (die bij dit grote niveauverschil immers sterk overheerst) na de registerovergang relatief minder zijn dan die vóór de registerovergang.

Na de registerovergang zal bij opvoeren van de trekkracht, de frequentie in gelijke mate stijgen, echter de Ps in mindere mate dalen. Hiermee is het steiler verloop van de 2 lijnen na de registerovergang verklaard.

### III. 3. APPENDIX.

III. 3. 1. *Hoe komt het, dat bij de B II proeven de Mwk geleidelijk oploopt bij opvoeren van de trekkracht?* Voordat wij deze vraag kunnen beantwoorden, is het nodig, dat wij ons het volgende afvragen:

*Welke factoren spelen een rol op het oplopen van de Mwk tijdens een B II proef?*

1. Dit verschijnsel hangt *niet* samen met de flow of Ps. Bewijs:

a. Bij *flow* nul, op de goede plaats aangebrachte pin-cetpunten en bij gebruik van arytenoidteugels, blijkt bij opvoeren van de trekkracht de Mwk in gelijke mate te stijgen als bij de B II proef (als men met dezelfde Mwk begint).

Voorbeeld: Bij preparaat S 13200 loopt zowel bij *flow* 2 atm ( $125 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ) als bij *flow* 0 atm de Mwk op van  $13\frac{1}{2}$  tot  $15\frac{1}{2}$  mm Hg (175 tot 205 g).

b. Bij een serie B II proeven ziet men de Mwk in gelijke mate oplopen bij de *verschillende flows* (1 tot 6 atm).

Voorbeeld: bij preparaat S 13153 loopt bij alle B II proeven de Mwk op van 10 tot 13 mm Hg (127 tot 168 g).

2. De Mwk loopt *wèl* op met het opvoeren van de trekkracht. Dit neemt men als regel waar tijdens de B II proeven. Als men aan het einde van een B II

proef, de trekkracht geleidelijk vermindert, terwijl men dezelfde flow aanhoudt, zal de Mwk geleidelijk dalen.

Het feit, dat de Mwk oploopt met het opvoeren van de trekkracht zou een gevolg kunnen zijn van het (ook) naar voren bewegen van de arytenoiden, ondanks het feit, dat de arytenoidteugels aan de zeer stevige verticale staaf vastgemaakt zijn, waardoor een breder deel van de wigvormige processsi vocales (van boven gezien) zich tussen de pincetpunten indringt.

Tegen deze veronderstelling, dat de arytenoiden bij opvoeren van de trekkracht (ook) naar voren bewegen, pleiten de volgende punten: 1, 2, 3, 4.

1. Met het blote oog kan men zien, dat tijdens het opvoeren van de trekkracht de processsi vocales wel craniaalwaarts of craniolateraalwaarts bewegen, maar dat er zeker geen bewegingscomponent naar voren is.

Voorbeeld: Bij flow nul, niet aangebrachte pincetpunten en bij losse arytenoidteugels blijkt bij opvoeren van de trekkracht,

a. dat bij preparaat S 13200 het arytenoidcorpus een kippbeweging maakt craniolateraalwaarts, terwijl de processsi vocales craniolateraalwaarts bewegen;

b. dat bij preparaat S 13241 de processsi vocales lateraalwaarts bewegen.

2. Het gebruik van de arytenoidteugels heeft geen invloed op de toename van de Mwk en op de lengteverandering van de stemplooien, als men de trekkracht opvoert.

Veronderstelt men, dat de arytenoiden wel naar voren bewegen bij opvoeren van de trekkracht, dan zal het gebruik van teugels deze beweging enigszins afremmen.

a. De Mwk zou dan minder toenemen en

b. de verlenging van de stemplooien zou dan groter zijn.

ad a. Het blijkt echter, dat de Mwk in gelijke mate oploopt (als men uitgaat van dezelfde beginwaarde) zonder of met gebruik van de arytenoidteugels.

Voorbeeld: Bij preparaat S 13241 krijgen wij bij flow

nul bij de volgende trekwaarden (g):	0	50	100	150	200	250	300
de volgende Mwk waarden (mm Hg):							
- zonder arytenoidteugels:	10-	10	10+	10½	11-	11	11½
- met arytenoidteugels:	10-	10	10+	10½	11-	11	11½

De opgegeven maten zijn telkens de gemiddelden van 3 metingen.

ad b. Het blijkt, dat het lengteverschil van een stem-



plooi bij trekkracht 0 g en 300 g ongeveer dezelfde is, ongeacht of men wel of geen arytenoidteugels gebruikt.

Voorbeeld: Bij preparaat S 13241 gaat men voor de rechter stemplooi het lengteverschil na bij 0 en 300 g trekkracht. De thyreoidhoek is niet gekliefd. Zonder arytenoidteugels krijgt men bij 0 en 300 g trekkracht respectievelijk 15.9 en 18.9 mm; met arytenoidteugels krijgt men 16.1 en 19.0 mm (ook deze maten zijn de gemiddelden van 3 metingen).

Men kan ook volstaan bij de 2 toestanden (met of zonder arytenoidteugels) alleen de lengten bij 300 g trekkracht met elkaar te vergelijken; dit geeft bovendien meer constante uitkomsten. Het komt bij éénzelfde stemplooi wel eens voor, dat in niet-belaste toestand de lengte bij verschillende metingen wat verschilt; de lengte bij 300 g trekkracht is als regel bij de verschillende metingen meer constant.

3. Een ander bewijs is het feit, dat men onze proeven kan uitvoeren met 2 gekruist verlopende arytenoidteugels of met een gemeenschappelijke arytenoidhechting. (Het is wel nodig gebleken, dat de corpores van de arytenoiden elkaar raken, daar anders lucht ontsnapt. Wij kunnen het dus moeilijk zonder arytenoidteugels of gemeenschappelijke arytenoidhechting stellen; onmogelijk is dit echter niet, zoals bij volkomen symmetrische preparaten blijkt).

4. Het lijkt ons ook zeer onwaarschijnlijk, dat de arytenoiden naar voren bewegen bij contractie van de musculus cricothyreoideus. Immers de arytenoiden hebben in vivo een steunende functie; zij fungeren tevens als 2 ophangroeden voor de oesophagusvoorzak. De articulatie op het cricoid is voldoende stevig om een voor- of achterwaartse beweging te beletten.

Het oplopen van de Mwk bij opvoeren van de trekkracht hangt dus niet samen met de Ps (flow) of met het naar voren bewegen van de arytenoiden. Het hangt wel samen met het feit, dat de *processi vocales* steeds meer lateraalwaarts worden getrokken, als wij de trekkracht opvoeren. Dit zien wij uiteraard alleen, als de pincetpunten niet op de plaats zijn aangebracht. Het gebruik van arytenoidteugels verandert niets aan dit feit.

Het verschijnsel, dat bij opvoeren van de trekkracht aan de thyreoidhoek, de *processi vocales* steeds meer lateraalwaarts worden getrokken, is begrijpelijk, als men bedenkt, dat het articulatie-"punt" tussen



arytenoid en cricoid zich op een (kleine) afstand van de mediaanlijn bevindt. Bij opvoeren van de trekkracht zal het voorste uiteinde van de processus vocalis lateraalwaarts getrokken worden, opdat de 3 punten: articulatie "punt" tussen arytenoid en cricoid, voorste uiteinde van de processus vocalis en voorste aanhechting van het ligamentum vocale zoveel mogelijk op één rechte lijn komen te liggen.

- III. 3. 2. Teneinde een beter inzicht te krijgen in het wezenlijke van de registerovergang voeren wij een *geluidsproef* uit, waarbij een *onrekbare draad in één stemplooirand* wordt aangebracht.

*Aanleiding tot de proef.*

De aanleiding tot de proef zijn bepaalde veronderstellingen:

1. De hoge spanning van de stemplooirand is essentieel voor het optreden van een falsettoon.

Na de knik van de B II T-Fr curve treden de falsettonen op. Onder IV. 1. 6 en IV. 1. 3 punt VIII zal worden aangetoond, dat de knik overeenkomt met de overgang van de rekbare toestand van het ligamentum vocale in de onrekbare. Hieruit hebben wij de conclusie getrokken, dat de hoge stemplooirandspanning essentieel is voor het ontstaan van falsettonen.

2. Bij spanningsverschil tussen de 2 stemplooiën heeft de stemplooi met de grootste spanning de leiding bij de toonproductie.

Bij klein niveauverschil ziet men, dat het lineaire beginstuk van de B II T-Fr curven steiler omhoog loopt dan het overeenkomstige stuk bij evenhoogstaande stemplooiën (fig. 38). Hierdoor is het vermoeden bij ons opgekomen, dat bij *niveauverschil*, *spanningsverschil* tussen de stemplooiranden optreedt en dat de stemplooi met de grootste spanning de leiding heeft bij de geluidsproductie.

Veronderstellen wij dat de stemplooiën, wat de bewegingen betreft, elkaar over en weer beïnvloeden, dan is het begrijpelijk, dat van de stemplooi met de *minste* demping een grotere invloed uitgaat op de andere stemplooi dan omgekeerd het geval is. Daar de stemplooi met de grootste spanning minder gedempt is, wordt het duidelijk, dat deze stemplooi de leiding heeft bij de geluidsproductie.

Dat de stemplooiën aan elkaar gekoppeld zijn, is voer het eerst aangenomen door VAN DEN BERG (1953). Het verschijnsel, dat onder bepaalde pathologische omstandigheden (bijv. een door WZISS aangehaald

geval van chronische laryngitis met éézijdige internusverlamming) tussen de stemplooien faseverschil mogelijk is, verklaarde VAN DEN BERG door aan te nemen, dat de 2 stemplooien "uiteenlopende dempingsfactoren" bezitten. "Degene, die het zwakst gedempt is, moet dan beschouwd worden als de primaire, die de sterker gedempte met zich meesleept.....".

Brengen wij een draad aan door één stemplooirand, dan verwachten wij dus op grond van het eerste vermoeden, dat bij opvoeren van de randspanning hoge tonen ontstaan, terwijl men niet aan de thyreoïdhoek trekt. Meteen zal dan blijken of het tweede vermoeden juist is (immers de randspanning van de andere stemplooi is gelijk aan de randspanning bij borst- en lagere midden tonen).

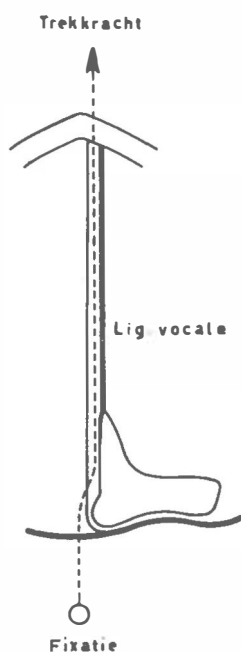


Fig. 39. Draadproef: het verloop van de onrekbare draad (stippellijn) in een stemplooirand (schematisch).

*De eisen, waaraan de methode moet voldoen, zijn de volgende:*

1. De draad moet door de stemplooirand gaan en liggen tussen ligamentum vocale en slijmvlies; de draad loopt dus in de submuqueuze ruimte van de stemplooirand.

2. De draad moet aan de voorkant (thyreoidhoek) en achterkant (arytenoid) vrijlopen (geen wrijving ondervinden), opdat de afgelezen trekwaarden ((veerbalans) maatgevend zijn voor de draadspanning.

Wij gebruiken de volgende *methode* (fig. 39).

a. Wij boren een ruim gat door de thyreoidhoek ter hoogte van de voorste aanhechting van het ligamentum vocale.

b. Met een rechte naald wordt een zeer dunne draad door de stemplooirand gebracht tussen het ligamentum vocale en slijmvlies in (de draad bevindt zich dus in de submuqueuze ruimte van de stemplooirand).

c. De draad treedt weer te voorschijn ongeveer op de overgang van processus vocalis en corpus van het arytenoid. Hij doorboort dan het slijmvlies, dat de musculus arytaenoideus transversus heeft bekleed en wordt met een koperdraadje bevestigd aan de verticale staaf, waar het preparaat aan bevestigd is.

d. Om zeker te zijn, dat bij trek aan de draad de thyreoidhoek *niet* naar voren beweegt (spannen van het ligamentum vocale) maken wij het gat bij de thyreoidhoek ruim. Bovendien leggen wij een gefixeerde staaf tegen de voorkant van de thyreoidhoek aan.

#### *Resultaten.*

Als voorbeeld stellen wij de proeven, uitgevoerd met preparaat S 13562, ♂ 73 jaar. Er is geen niveauverschil tussen de stemplooien; de dunne niet rek-bare draad loopt in de submuqueuze ruimte van de rechter stemplooirand. Wij hebben bij de volgende begintoestand:

Fl 2 atm ( $125 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ), Mwk 10 mm Hg (127 g); Fr 115 Hz, Ps  $10\frac{1}{2}$  cm H<sub>2</sub>O twee proeven uitgevoerd:

I. Bij trek aan de draad:

1. zal bij 8 g respectievelijk 7 g de frequentie en de Ps plotseling veranderen. Er treedt hier een registerovergang op; na de registerovergang bedragen de frequenties respectievelijk Ps: 250 Hz,  $6\frac{1}{2}$  cm H<sub>2</sub>O.

2. Voeren wij na de registerovergang de trekkracht (tot 300 g) op, dan blijkt, dat Fr en Ps gelijk blijven.

II. Bij trek aan de *niet gekliefde thyreoidhoek*:

1. zal bij 19 g respectievelijk 17 g de frequentie en de Ps plotseling veranderen. Er treedt dan een registerovergang op; na de registerovergang bedragen de frequenties respectievelijk Ps: 340 Hz,  $8\frac{1}{2}$  cm H<sub>2</sub>O;

2. Voeren wij na de registerovergang de trekkracht (tot 300 g) op, dan stijgt zowel frequentie als Ps.

### Conclusies:

1. Voor de productie van een falsettoon is de spanning van de rand van de stemplooi essentieel. Is deze spanning groter dan een bepaalde(lage) waarde, dan worden falsettonen geproduceerd.

In vivo ontstaat de stemplooi spanning door contractie van de musculus cricothyreoideus. Hierdoor wordt het ligamentum vocale, dat immers juist door de stemplooirand loopt, gespannen.

2. De stemplooi met de grootste spanning heeft de leiding bij de geluidsproductie.

3. Registerovergang treedt bij proef I op bij 8 respectievelijk 7 g. Registerovergang treedt bij proef II op bij 19 respectievelijk 17 g.

a. Oefent men trek uit aan de intacte thyreoidhoek, dan komt dus  $\frac{16}{19}$  respectievelijk  $\frac{14}{17}$  deel, dus 84.4% respectievelijk 82.5% op rekening van de 2 ligamenta vocalia (vooropgesteld, dat beide ligamenta vocalia evenveel opvangen van de aan de thyreoidhoek uitgeoefende trekkracht). Deze waarden komen overeen met die berekend bij IV. 1.6. pag. 117.

b. Men ziet, dat de registerovergang bij proef II optreedt bij een trekkracht, die *kleiner* is dan de helft van de trekkracht, die men aan de intacte thyreoidhoek moet uitoefenen om hetzelfde te bereiken. Dit feit is heel begrijpelijk, daar bij proef II beide ligamenta vocalia gespannen worden en ook het *omhulende weefsel* moet worden gerekt.

4. Ook bij proef I blijkt de regel op te gaan, dat bij een registerovergang de hogere frequentie gepaard gaat met een lagere Ps en omgekeerd. Vóór respectievelijk na de registerovergang bedraagt de frequentie 115 Hz respectievelijk 250 Hz, terwijl de Ps  $10\frac{1}{2}$  cm H<sub>2</sub>O respectievelijk  $6\frac{1}{2}$  cm H<sub>2</sub>O bedraagt.

5. Bij proef I blijkt het bewegingsmechanisme van de stemplooiën bij de hogere toon overeen te komen met dat van de falsettoon. De bewegingen zijn beperkt tot de rand van de stemplooiën; de amplituden zijn klein; tijdens de sluitingsfase is de glottis open (dit is tenminste het geval bij dit preparaat).

6. De frequenties, die bij proef I en II na de respectievelijke registerovergangen optreden (250 Hz resp. 340 Hz), zijn niet vergelijkbaar, want:

bij proef I fungeert de gespannen onrekbare draad in plaats van het ligamentum vocale als harde onderlaag en omdat deze draad onmiddellijk submuqueus gelegen is, zal een veel *smallere* randmassa meetrillen. Bovendien loopt de draad bij proef I slechts door één stemplooirand. Men kan veronderstellen, dat de

toonaangevende stemplooi de andere (tragere) stem-plooi in zijn beweging moet meeslepen. Dit energieverlies zal zeker neerkomen op vermindering van de frequentie.

7. Om de invloed van grootte en ligging van de harde onderlaag te demonstrenen zou men proef I moeten uitvoeren met 2 draden (dus één draad voor elke stemplooirand). De frequenties, die nu bij proef I en II na de registerovergang zouden optreden, zijn dan wel onderling vergelijkbaar. Het is te verwachten, dat bij proef I hogere tonen ontstaan, daar immers een kleinere massa van de stemplooiranden bewegen.

8. Men ziet bij proef I, dat na de registerovergang de frequentie niet meer stijgt, als men de trekkracht opvoert. De niet elastische draad fungeert als harde onderlaag en het maakt voor de trillende massa kennelijk niets uit of de onderlaag hard of zeer hard is. Met andere woorden: met het opvoeren van de trekkracht zal de onderlaag zeer hard worden; de trillende massa zal echter niet kleiner worden.

Veronderstelt men een elastische draad submuqueus door één of beide stemplooiranden, dan kan men verwachten, dat na de registerovergang de frequentie wel zal stijgen bij opvoeren van de trekkracht. In dit geval zal met het opvoeren van de trekkracht de trillende massa wel kleiner worden.

Om de ligamenta vocalia zoveel mogelijk na te bootsen zou men een smalle, elastische band submuqueus in elke stemplooirand moeten aanbrengen. Zoals een kouseband moeten de banden, van een bepaalde rektoestand af, niet meer rekbaar zijn.

9. Het resultaat van deze proeven kunnen wij opvatten als de experimentele bevestiging van de door VAN DEN BERG (1953) op theoretische gronden aangenomen "interne koppeling" in de larynx.

### III. 3. 3. FLUITREGISTER.

#### I. Hoe ontstaat een laryngeale fluittoon?

Bij 4 preparaten is geprobeerd fluittonen te produceren. In één geval is dit niet gelukt.

Met recht spreken wij van fluittonen, daar de tonen ontstaan, zoals bij een fluit of orgelpijp het geval is. De toonproductie berust op het ontstaan van lucht-wervelingen in een kleine opening tussen de processus vocales; de toonhoogte hangt af van de grootte en vorm van de resonantieholten.

VAN DEN BERG heeft in 1957 aangetoond,

a. dat bij een borst-, midden- en falsettoon de fre-

quentie *niet* afhankelijk is van de voortplantings-snelheid van het ingeademde gasmengsel;

b. dat bij een gewone fluittoon (mondfluittoon) en laryngeale fluittoon de frequentie stijgt met de toenemende voortplantingssnelheid van het ingeademde gasmengsel.

Hijgebruikte voor zijn proeven lucht en een mengsel van 80% H<sub>2</sub> en 20% O<sub>2</sub>; de voortplantingssnelheid in het mengsel is ongeveer 2x zo hoog als die in lucht. VAN DEN BERG schrijft: "... we may conclude that the pipe register arises from the formation of eddies in the larynx and subsequent cavity resonance".

II. De fluittonen kunnen *in vivo* slechts worden geproduceerd bij zeer geleidelijke exspiratie met zeer

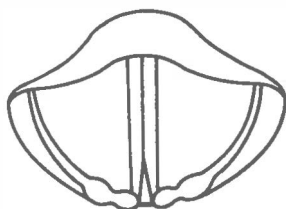


Fig. 40. Fluitregister: bij indirecte laryngoscopie zien wij, dat de stemplooien elkaar in de mediaanlijn raken; tussen de processi vocales ziet men een kleine driehoekige ruimte.

kleine flows (a) en bij "ontspannen larynxspieren" (b) (uitspraak van de proefpersoon).

Bij *indirecte laryngoscopie* valt ons het volgende op: (fig. 40).

1. De stemplooien raken elkaar in de mediaanlijn; men ziet een kleine driehoekige ruimte tussen de processi vocales (c). De driehoekige ruimte wordt dus aan de laterale zijden begrensd door de mediale oppervlakken van processi vocales en corpores van de arytenoiden en aan de dorsale zijde door de bovenrand van het slijmvlies, dat de musculus arytaenoideus transversus aan de voorzijde bekleedt.

2. De processi vocales convergeren licht naar voren (d). Of de uiteinden van de processi vocales elkaar in de mediaanlijn raken, is moeilijk te beoordelen, daar deze "punten" zich 1-2 mm onder het niveau van de craniale oppervlakken van de stemplooien bevinden.

3. De lengte van de stemplooien komt overeen met de lengte bij de borsttonen; de stemplooiranden zien er ontspannen uit (e).

Uit de bovenstaande waarnemingen concluderen wij,

dat fluittonen kunnen ontstaan bij de volgende combinatie van omstandigheden:

1. kleine flow (dit blijkt uit (a)). Dit wordt bevestigd door de proeven (verg. V);
2. ontspannen musculus cricothyreoideus en ontspannen musculus vocalis (dit blijkt uit (b) en (e));
3. matige contractie van de musculi aryaenoidei (transversus en obliquus) (dit blijkt uit (c). Immers tijdens de inspiratie zijn de musculi aryaenoidei volkomen ontspannen en is de afstand tussen de arytenoiden groter dan het geval is bij een fluittoon).
4. De arytenoiden bevinden zich in lichte adductie-stand (dit blijkt uit (d). Hoogstwaarschijnlijk komt dit neer op ontspannen abductiespieren en lichte contractie van de adductiespieren.

III. *Hoe kunnen wij aannemelijk maken, dat bij de fluittonen de musculus cricothyreoideus ontspannen is?* Door de uitspraak van de proefpersoon, dat de overgang van een fluittoon naar een borsttoon "gemakkelijk" gaat, terwijl de overgang van een fluittoon naar een falsettoon "moeilijker" gaat.

Dat de overgang van een fluit- naar een borsttoon, gemakkelijk gaat, is begrijpelijk. Hiervoor is slechts een opvoeren van de contractie van de musculi aryaenoidei nodig, opdat de stemplooiranden ter hoogte van de processus vocales elkaar raken (de kleine driehoekige ruimte verdwijnt dan). Bij deze *lage ligamentum vocale-spanning* (immers ook bij volkomen ontspannen musculus cricothyreoideus is het ligamentum vocale zeer licht gespannen) en bij deze *lage flow* ontstaat dan een borsttoon.

Dat de overgang van een fluit- naar een falsettoon moeilijker gaat, is ook begrijpelijk, want behalve een versterking van de contractie van de musculi aryaenoidei is contractie van de musculus cricothyreoideus nodig.

Voor de overgang van een fluit- naar een falsettoon is het niet nodig de flow op te voeren. Een falsettoon is immers ook mogelijk bij kleine flow en grote *ligamentum vocale spanning* (grote trekkracht aan de thyreoïdhoek).

IV. Bij onze proeven hebben wij de *methodiek* enigszins gewijzigd, opdat fluittonen kunnen ontstaan.

1. Opdat de arytenoidlichamen elkaar niet raken is het nodig de arytenoidteugels naar laterodorsaal te doen verlopen (de teugels divergeren dus naar achter).
2. De pincetpunten moeten op een zeer speciale

plaats worden aangebracht. Opdat de processus vocales naar voren convergeren, zonder dat de mediale oppervlakken van processus vocales en corpora van de arytenoiden elkaar raken, moet aan beide zijden de *achter-rand* van een pincetpunt juist overeenkomen met de uiteinde van een processus vocalis; de pincetpunten reiken tot iets minder dan 5 mm in de diepte.

3. Wij gebruiken geen wattenprop achter de arytenoiden, daar dit niet nodig is. (Bij deze lage flow zal het slijmvlies, dat de musculus aryaenoideus transversus oorspronkelijk bekleedde, zeker niet meetrillen). Het is bovendien een ervaringsfeit, dat met een wattenprop moeilijker fluittonen kunnen worden geproduceerd.

4. Onontbeerlijk is een kleine flow. Als regel gebruiken wij een flow van 1 atm ( $65 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ).

5. De methode om de frequenties af te lezen is ook enigszins gewijzigd. Dezelfde toon wordt nagebootst met behulp van toongenerator en luidspreker en de frequentie wordt afgelezen. Deze methode is nauwkeurig, want als de twee frequenties nagenoeg gelijk zijn, hoort men zwevingen. (Deze afstemming is gemakkelijk te onderscheiden van die, waarbij de frequentie van de laryngeale toon een veelvoud is van de luidspreker).

#### V. Resultaten en conclusies van enkele proeven.

De volgende resultaten hebben betrekking op preparaat S 13153. De series A en B zijn telkens in éénzelfde zitting gemaakt. Voor serie B zijn de pincetpunten opnieuw aangebracht; de resultaten van serie B zijn dus niet vergelijkbaar met die van serie A (het mechanisme van het fluitregister schijnt namelijk zeer fijn te zijn). Uit technische overwegingen is het helaas nodig om tussen twee metingen in de flow telkens even stop te zetten.

##### Serie A:

a. Fl: 1 atm ( $65 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ); Mwk: 3 mm Hg (35 g); Ps: 4-cm H<sub>2</sub>O; Fr:  $\pm$  4500 Hz.

b. Fl: 1 atm ( $65 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ); Mwk: 2 mm Hg (22 g); Ps: 3-cm H<sub>2</sub>O; Fr:  $\pm$  4200 Hz.

##### Serie B:

a. Fl: 1 atm ( $65 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ); Mwk: 1+ mm Hg (14 g); Ps:  $3\frac{1}{2}$ -cm H<sub>2</sub>O; Fr: 4000 Hz.

b. Fl: 1 atm ( $65 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ); Mwk: 2+ mm Hg (25 g); Ps: 4-cm H<sub>2</sub>O; Fr:  $\pm$  4500 Hz.

c. Fl: 1 atm ( $65 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ); Mwk: 2+ mm Hg (25 g); Ps: 4-cm H<sub>2</sub>O; Fr:  $\pm$  4200 Hz.

d. Fl: 1 atm ( $65 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ); Mwk: 4 mm Hg (50 g); Ps:  $4\frac{1}{2}$ -cm H<sub>2</sub>O; Fr:  $\pm$  4000 Hz.

e. Fl: 1 atm ( $65 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ); Mwk: 4 mm Hg (50 g); Ps: 4-cm H<sub>2</sub>O; Fr:  $\pm$  3900 Hz.

f. Fl: 1 atm ( $65 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ); Mwk: 4 mm Hg (40 g); Ps:  $4\frac{1}{2}$ -cm H<sub>2</sub>O; Fr:  $\pm$  4300 Hz.

De volgende 2 metingen zijn verricht tijdens dezelfde zitting als de hierbovenstaande reeks van 6 metingen en zijn meteen gebruikt als uitgangspunten



voor de proeven, die de invloed van de flow op de hoorbaarheid van fluittonen nagaat.

g. Fl: 1 atm ( $65 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ); Mwk:  $3\frac{1}{2}$  mm Hg (39 g); Ps:  $4\frac{1}{2}$  cm H<sub>2</sub>O; Fr:  $\pm 5100$  Hz.  
h. Fl: 1 atm ( $65 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ); Mwk:  $2\frac{1}{2}$  mm Hg (28 g); Ps: 4 cm H<sub>2</sub>O; Fr:  $\pm 5100$  Hz.

Zetten wij de gevonden waarden van serie B grafisch uit, dan blijkt geen bepaald verband te bestaan tussen flow, Ps en frequentie onderling. Dit is begrijpelijk, als men uitgaat van de zeer waarschijnlijke veronderstelling met een zeer fijn mechanisme te doen te hebben. Het telkens stopzetten van de flow tussen twee waarnemingen (van dezelfde serie) in, maakt reeds, dat de waarnemingen onderling niet vergelijkbaar zijn.

#### VI. Invloed van de flow op de hoorbaarheid van fluittonen.

Er worden 2 proeven gedaan:

a. Men gaat uit van de volgende toestand:

Fl: 1 atm ( $65 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ); Mwk:  $3\frac{1}{2}$  mm Hg (39 g); Ps:  $4\frac{1}{2}$  cm H<sub>2</sub>O; Fr:  $\pm 5100$  Hz.

Nu wordt de flow veranderd:

Bij Fl:  $\frac{1}{2}$  atm ( $30 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ): verdwijnt de fluittoon geleidelijk.

Bij Fl: 1 atm ( $65 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ): is de fluittoon goed hoorbaar.

Bij Fl:  $1\frac{1}{2}$  atm ( $95 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ): is de fluittoon goed hoorbaar.

Bij Fl:  $1\frac{3}{4}$  atm ( $113 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ): is de fluittoon nog hoorbaar, maar gelijktijdig is geruis hoorbaar.

Bij Fl: 2 atm ( $125 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ): is de fluittoon niet meer hoorbaar; men hoort alleen geruis.

b. Men gaat uit van de volgende toestand:

Fl: 1 atm ( $65 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ); Mwk:  $2\frac{1}{2}$  mm Hg (28 g); Ps: 4 cm H<sub>2</sub>O; Fr:  $\pm 5100$  Hz.

Nu wordt de flow veranderd:

Bij Fl: van ruim  $\frac{1}{2}$  atm ( $30 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ) verdwijnt de fluittoon geleidelijk.

Bij Fl: 1 atm ( $65 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ) is de fluittoon goed hoorbaar.

Bij Fl:  $1\frac{1}{4}$  atm ( $83 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ) is de fluittoon goed hoorbaar.

Bij Fl:  $1\frac{1}{2}$  atm ( $95 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ) is de fluittoon nog hoorbaar, maar gelijktijdig horen wij geruis.

Bij Fl: 2 atm ( $125 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ) is de fluittoon niet meer hoorbaar; men hoort alleen geruis.

c. Conclusie: Bij onze proeven is een fluittoon goed hoorbaar bij een flow van 1 -  $1\frac{1}{4}$  atm ( $65 - 83 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ). Bij een kleinere flow zal de fluittoon geleidelijk aan verdwijnen; bij een grotere flow komt er geruis bij.

## HOOFDSTUK IV.

### HET VERBAND TUSSEN DE REGISTERS EN DE EIGENSCHAPPEN VAN HET LIGAMENTUM VOCALE. DE FUNCTIE VAN HET LIGAMENTUM VOCALE.

#### IV. 0. INLEIDING.

Bij de proeven van hoofdstuk III is de invloed nagegaan van de variatie van flow, mediaanwaartse kracht en trekkracht. Aan de eigenschappen van het larynxpreparaat zelf is geen aandacht geschonken. Deze eigenschappen zijn natuurlijk van de grootste betekenis, indien er trekkracht aan de thyreoïdhoek wordt uitgeoefend. Wij zullen nagaan wat er dan met het preparaat gebeurt en welke weefsels het beste aan die trekkracht weerstand bieden. Bovendien zullen wij het verband nagaan tussen de registers en de eigenschappen van stemplooi en ligamentum vocale. Er wordt gebruik gemaakt van 2 soorten proeven: ligamentum vocale-rekproeven en stemplooi-rekproeven. Bovendien trachten wij te komen tot een beter inzicht omtrent de functie van het ligamentum vocale.

*De fijne anatomie van de ware stemplooi dient in verband met bovenstaande proeven nader te worden besproken. Figuur 41 is een frontale doorsnee door de ware stemplooi en onmiddellijke omgeving bij een volwassene. Met de nummers 1 t/m 8 zijn respectievelijk aangegeven: 1. valse stemplooi, 2. cartilago thyreoidea, 3. cartilago cricoidea, 4. ligamentum vocale, 5. musculus vocalis 6. conus elasticus, 7. de scheiding tussen conus elasticus en musculus vocalis, 8. musculus cricothyreoideus lateralis.*

Een belangrijk onderdeel van de stemplooi blijkt het ligamentum vocale te zijn. Men kan dit omschrijven als de weefsellaag, die aan de mediocraniale rand van de stemplooi ligt tussen slijmvlies en musculus vocalis en die bestaat uit elastische en collage vezels. Naar onderen toe (caudaalwaarts) gaat deze weefsellaag over in de conus elasticus. Op de frontale doorsnee is deze weefsellaag sikkelvormig (fig. 41 en 42). Het ligamentum vocale schemert aan het mediale oppervlak van de stemplooirand wit door (fig. 42, a en b). Bij c ziet men het ligamentum vocale echter niet meer wit doorschemeren, doordat te veel weefsel ingeschoven is tussen slijmvlies en ligamentum vocale. (Onder V.3.2 punt 1 hebben wij

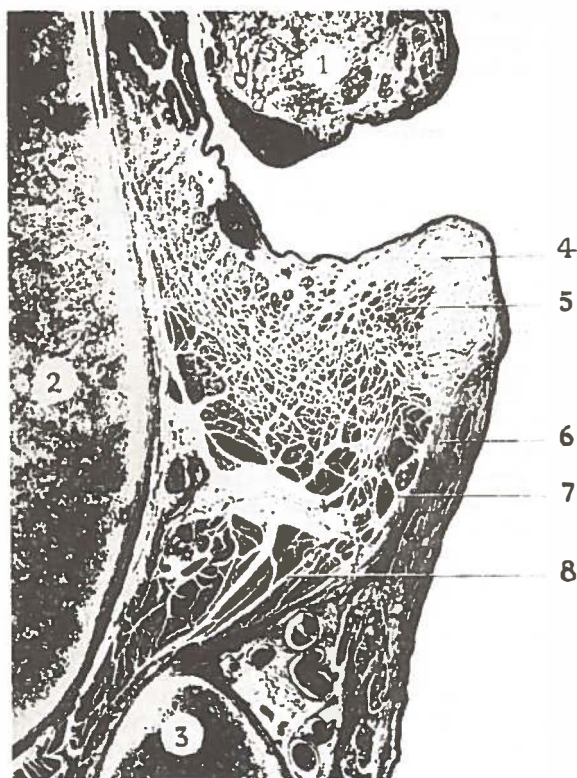


Fig. 41. Frontale doorsnee door de ware stemplooi en onmiddellijke omgeving bij een volwassene. Haematoxyline-eosine kleuring. 16 maal vergroot. Uit MAYET (1955), Z. Anat., 119, 87.  
1. valse stemplooi, 2. cartilago thyroidea, 3. cartilago cricoidea, 4. ligamentum vocale, 5. musculus vocalis, 6. conus elasticus, 7. de scheiding tussen conus elasticus en musculus vocalis, 8. musculus cricothyroideus lateralis.

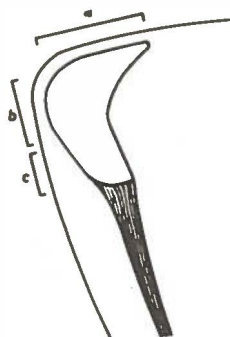


Fig. 42. De overgang van ligamentum vocale in conus elasticus (schematisch). Verklaring: zie tekst.

opgemerkt, dat de plaats van het eerste contact tussen de stemplooien zich als regel bevindt in het gebied van het ligamentum vocale. Wij bedoelen hiermee het gebied b en c).

#### IV. 1. DE LIGAMENTUM VOCALIS REKPROEF.

##### IV. 1. 1. Aanleiding tot de ligamentum vocale rekproeven.

1. De volgende *waarnemingen* gaven aanleiding tot deze proeven. Als men bij een bepaalde mediaanwaartse kracht de trekkracht opvoert, blijkt bij het opvoeren van deze kracht de toonhoogte te stijgen en de amplituden aan de rand kleiner te worden. Bovendien ziet men, dat een steeds kleiner deel van de rand beweegt. Er werd verondersteld, dat dit resultaat vooral werd bepaald door de aanwezigheid van het ligamentum vocale. Van het ligamentum vocale werd vermoed, dat dit het minst rekbaar weefsel van de stemplooirand is en dat het door zijn localisatie de randspanning het meest zou beïnvloeden.

2. Bovendien waren de volgende *veronderstellingen* mede aanleiding tot deze rekproeven:

a. Het blijkt, dat het ene preparaat in functie sterk kan verschillen van het andere. Zou een slechte geluidsproductie van een preparaat terug te voeren zijn op een groot verschil in verloop tussen de rekcurven van de twee ligamenta vocalia? Anders gezegd: zou de geluidsproductie verbeteren, al naar gelang de rekdiagrammen van de twee ligamenta vocalia meer gelijkvormig verlopen?

b. De *hoogst* bereikbare toon van een preparaat wisselt van geval tot geval. Zou er een parallel bestaan tussen het verschil van rekbaarheid tussen de twee ligamenta vocalia en de hoogte van de *hoogst* bereikbare toon? Anders gezegd: zal de *hoogst* bereikbare toon dalen, al naar gelang het verschil in rekbaarheid tussen de twee ligamenta vocalia groter is?

Beide hypothesen blijken achteraf wel waarschijnlijk. Zij zijn echter niet te bewijzen, daar blijkt, dat het minst rekbaar ligamentum vocale - dit is het ligamentum vocale met de minste demping - overheerst (verg. III. 3. 2. conclusie 2).

##### IV. 1. 2. Methodiek van de ligamentum vocale rekproeven.

1. Het *prepareren* van het ligamentum vocale.

a. Het larynxpreparaat wordt in de mediaanlijn in 2 helften geknipt en het ligamentum vocale wordt van

slijmvlies ontdaan (met behulp van een fijn anatomisch pincet).

b. Het ligamentum vocale wordt ondermijnd met een fijn anatomisch pincet en daarna worden de pincetbenen gespreid.

c. Het ligamentum vocale wordt aan de laterocaudale zijde van spierresten ontdaan (met behulp van een fijn anatomisch pincet).

d. Aan de uiteinden van het ligamentum blijven een klein gedeelte van het cartilago thyreoidea en een gedeelte van het arytenoid bevestigd; hieraan worden de twee ophanglussen aangebracht.

e. Als meetpunten gebruikt men twee draadknopen (dun draad).

2. Vervolgens wordt de *rekproef* uitgevoerd

a. Als nullengte (lengte vóór de proef bij te verwaarlozen belasting) van het ligamentum vocale wordt de lengte met bevestigd ophanghaakje ( $\frac{1}{2}$  g) aangenomen.

b. Vervolgens worden gewichten aangehangen: 5, 10, 15, 20, 50, 70, 100, 120, 150, 170, 100, 250, 300, 350, 400, 450 g etc. Men stijgt met de belasting in geringere mate, als wordt bemerkt dat men dicht is bij het maximum. De respectievelijke lengten worden afgelezen (nonius lineaal).

c. De nullengte na de proef wordt bepaald (ook weer met ophanghaakje).

Als regel zal de rekproef worden beëindigd, doordat één van de aanhechtingen het begeeft. Eventueel kan men na het wegen van het stuk ligamentum vocale (dit is immers nodig om de doorsnee te berekenen; zie onder) nog doorgaan met de rekproef door twee nieuwe knopen aan te leggen, die tegelijkertijd als meetpunten en ophangpunten fungeren. Op deze wijze kan men de maximale belasting berekenen. Daar het stuk tussen de meetpunten nu echter relatief korter is dan te voren, zijn de gemeten lengten niet vergelijkbaar met die vóór de verscheuring van een aanhechting.

Van elke rekproef zijn bekend: sectie nummer, geslacht, linker of rechter ligamentum vocale, lengte vóór en na de rekproef (in mm), gewicht (in mg). Voor de doorsnee (in  $\text{mm}^2$ ) neemt men het gewicht gedeeld door de lengte. Wij maken voor het berekenen van de doorsnee dus steeds relatief dezelfde fout; de uitkomsten zijn daarom onderling vergelijkbaar. De belasting (in  $\text{g/mm}^2$  doorsnee) en de rek (in % van de beginlengte) worden grafisch uitgezet op de horizontale respectievelijk verticale as.

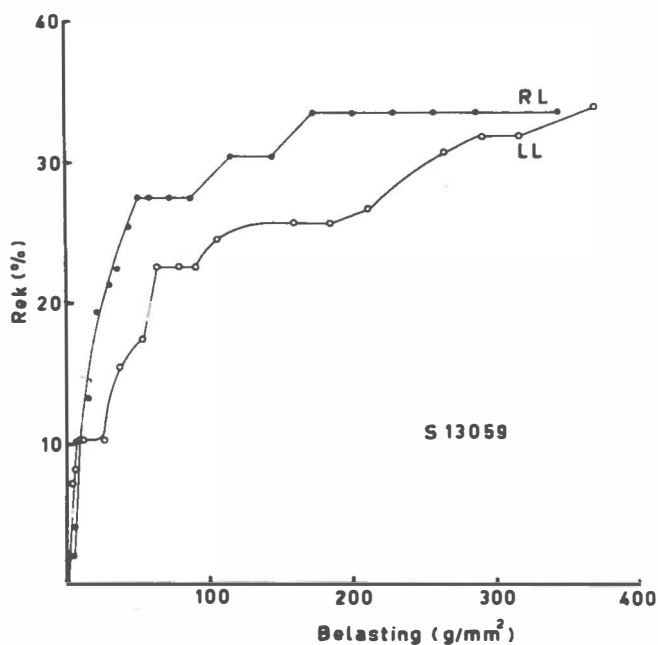


Fig. 43. Rekcurven van het linker ligamentum vocale (LL) en rechter ligamentum vocale (RL) van preparaat S 13059, ♂ 64 jaar.

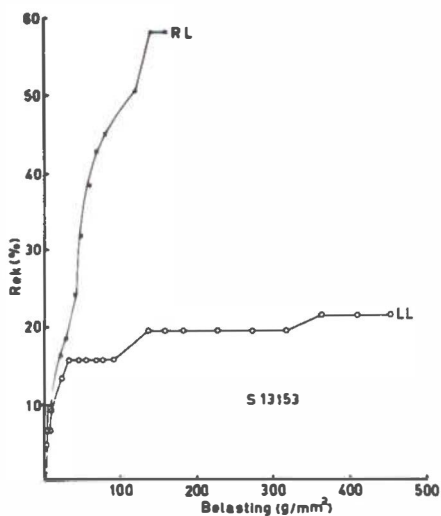


Fig. 44. Rekcurven van het linker ligamentum vocale (LL) en rechter ligamentum vocale (RL) van preparaat S 13153, ♂ 65 jaar.

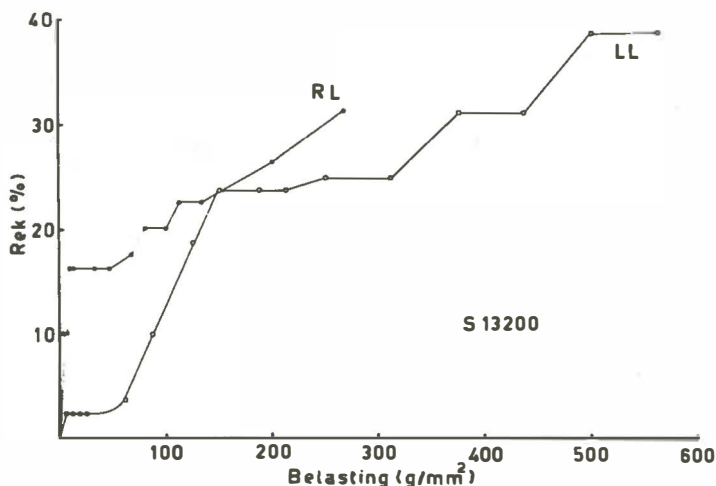


Fig. 45. Rekcurven van linker ligamentum vocale (LL) en rechter ligamentum vocale (RL) van preparaat S 13200, ♂ 66 jaar.

#### IV. 1. 3. Resultaten en conclusies, die betrekking hebben op de ligamentum vocale rekproeven.

Bij 22 preparaten zijn ligamentum vocale rekproeven uitgevoerd. Van 14 preparaten zijn ligamentum vocale rekcurven gemaakt van beide ligamenta vocalia. Bij de overige preparaten is slechts één rekproef uitgevoerd.

I. De maximale belasting verschilt zeer sterk (tussen 160.0 en 1166 g/mm<sup>2</sup>). De belasting bij deze rekproeven is zo groot, dat deze zeker veel groter zijn dan door spierweefsel kan worden opgebracht bij contractie ( $\pm 50$  g/mm<sup>2</sup>).

II. De maximale rek, uitgedrukt in % van de beginlengte, vertoont natuurlijk ook zeer opvallende verschillen (tussen 21.5% en 94.5%). Er is geen vast verband tussen maximale belasting (g/mm<sup>2</sup>) en maximale rek (% van de beginlengte). Hieruit blijkt ook de "individuele" rekbaarheid van de verschillende ligamenta vocalia.

III. Het lengteverschil vóór en na de proef, uitgedrukt in % van de beginlengte, wisselt ook sterk (van 8.0% tot 28.8%).

IV. Met de maximale rek stijgt het lengteverschil. Immers hoe meer het ligamentum vocale is uitgerekt, hoe meer collagene vezels zullen zijn verscheurd en hoe meer ook de elastische vezels overrekt zullen zijn. De neiging om na de proef terug te veren wordt dus kleiner en het lengteverschil wordt groter.

V. De aanhechtingen van de ligamenta vocalia blijken als regel minder rekweerstand te bezitten dan het overige deel van de ligamenta vocalia. Dit blijkt uit het feit dat de rekproef als regel beëindigd wordt, doordat één van de aanhechtingen het begeeft. Er blijkt echter geen voorkeur te zijn voor één bepaalde aanhechting (de voorste of de achterste).

VI. De *ligamentum vocale* rekurven van linker en rechter kant blijken als regel *ongelijk* te verlopen (fig. 43, 44, 45); dit geldt zowel voor mannelijke als voor vrouwelijke preparaten.

VII. Het rechter *ligamentum vocale* is als regel meer rekbaar.

Het rechter *ligamentum vocale* heeft als regel een grotere doorsnee. Bovenstaande geldt in 12 van de 14 gevallen.

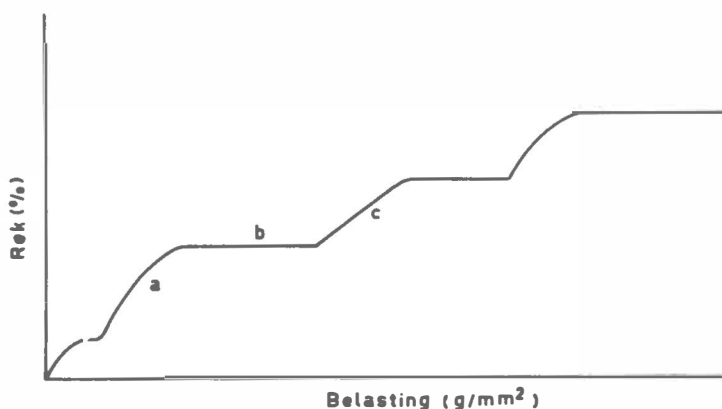


Fig. 46. Principe van het verloop van een *ligamentum vocale* recurve; verklaring: zie tekst.

VIII. Het verloop van de rekurven van het *ligamentum vocale*. Hypothese omtrent het ontstaan van de curve (fig. 46).

1. Zoals later in dit hoofdstuk zal worden beschreven, bestaat het *ligamentum vocale* uit elastische vezels en collagene vezels. Zowel de elastische als de collagene vezels zijn min of meer gekronkeld (afhankelijk van de leeftijd) en verlopen al of niet in lengterichting. Het eerste plateau van de *ligamentum vocale* rekurven komt overeen met het moment dat *alle* elastische vezels min of meer in lengterichting en gestrekt verlopen. Anders gezegd: Het eerste plateau ontstaat op het moment, dat ook de schuin en spiraal-



gewijs verlopende elastische vezels zoveel mogelijk in lengterichting gestrekt verlopen. (Deze veronderstelling wordt gesteund door onze waarneming, dat in de beginfase van de rekproef het bevestigde gewicht een draaiing uitvoert). Men kan zich indenken, dat na deze toestand een relatief *grotere* belastingvermeerdering nodig is om eenzelfde verlenging te krijgen als vóór deze toestand. Het eerste plateau is dus het gevolg van onze relatief grove wijze van lengte meten.

Dit plateau is in principe niet te vergelijken met de overige (grotere) plateaus, die zoals uit 2<sup>b</sup> zal blijken verband houden met de onrekbaarheid van de collage vezels. Bij het eerste plateau verloopt de curve vloeiend met een plateau-achtig deel (fig. 46); dit plateau-achtigdeel strekt zich slechts over een korte afstand uit. Het vloeiende verloop van de curve bij het eerste (kleine) plateau is te begrijpen, als men zich voor ogen houdt, wat er bij het eerste plateau gebeurt tijdens de rekproef.

Na het eerste plateau zien wij, dat de curve een terrasvormig verloop heeft, bijvoorbeeld bestaande uit *n*-eenheden.

2. Elke eenheid bestaat uit een vloeiend verlopend traject met de convexiteit naar links-boven (a), waarop een horizontaal verlopend stuk (plateau) aansluit (b) (fig. 46, a en b).

a. Op het traject a zal opvoeren van de belasting de rek steeds doen toenemen; bij verder opvoeren van de belasting zal de rek relatief steeds minder toenemen. Dit vloeiend verlopende stuk komt *zuiver* op rekening van de elastische vezels. De nagenoeg in lengterichting verlopende elastische vezels worden nu gerekt. Tijdens dit traject zullen geen collage vezels kapot gaan.

b. Op het punt waarop de vloeiende lijn overgaat in het horizontale stuk b, veronderstellen wij, dat een groep collage vezels *gestrekt* is. Van dit ogenblik af zal opvoeren van de belasting de lengte niet meer doen toenemen (traject b). Het horizontaal verlopend stuk komt dus op rekening van een groep collage vezels, die bij deze bepaalde belasting gestrekt worden. Bij het begin van het tweede plateau verlopen de eerste groep collage vezels gestrekt. Tenslotte zal de belasting te groot worden en zal deze groep gestrekte collage vezels kapot gaan. Bij het einde van het tweede plateau gaat dus de *eerste* groep collage vezels kapot. Nu volgt weer het aansluitend vloeiend verlopende traject van de volgende eenheid,

dat weer op rekening komt van de elastische vezels. Het proces herhaalt zich.

ad 1. Bij IV. 1.6 zal worden aangetoond, dat er verband is tussen het eerste plateau van de ligamentum vocale curve en de knik van de B II T-Fr curve. Na de knik worden de gestrekte elastische vezels, die nagenoeg in lengterichting verlopen, *gerekt*. Dit rekken geschiedt geleidelijk en het niveau van de stemplooien, dat als rand van de stemspleet fungeert, verschuift geleidelijk of sprongsgewijs. (Na de knik kunnen dus geen of wel registerovergangen optreden). Als eenmaal de eerste groep collagene vezels gestrekt verloopt (en verder komen wij immers bij onze geluidsproeven van hoofdstuk III niet) zal het ligamentum vocale te vergelijken zijn met een niet rekbare draad, die in de stemplooirand loopt (verg. pag. 77). Gaat men voor twee toestanden de verhouding tussen trekkracht en frequentie na, dan mag één van de twee toestanden dus niet te dicht bij de knik van de B II T-Fr curve liggen, daar men anders juist de fase treft, waarbij de elastische vezels nog *gestrekt* worden en de collagene vezels nog niet gestrekt zijn.

ad 2. Soms krijgt men inplaats van een vloeiend traject a een nagenoeg recht, schuin omhoog verloopend stuk c. Dit traject komt nu niet meer zuiver op rekening van de elastische vezels. Dit komt zeer waarschijnlijk, doordat tijdens dit stuk collagene vezels *na elkaar* kapot gaan.

Tabel 20.

De totale belasting, die men aan de gehele doorsnee van de ligamenta vocalia moet uitoefenen om bij de rekproeven het eindpunt van de tweede plateau te bereiken, is altijd groter dan  $\frac{4}{5} \times 150$  g.

Preparaat	Lig. vocale R/L	Belasting aan het einde van het 2e plateau (g/mm <sup>2</sup> )	Doorsnee lig. vocale (mm <sup>2</sup> )	Totale belasting (g)
S 13059	R	85,8	3.5	300
	L	90,0	2.4	220
S 13153	R(einde v.d. curve)	160.0	2.5	400
	L	91.0	2.2	200
S 13200	R	66.7	3.1	210
	L	250.0	1.8	450
S 13419	R	150.0	1.0	150

Het blijkt, dat de toestand overeenkomend met het einde van het tweede plateau bij onze geluidsproeven (hoofdstuk III) *niet* bereikt wordt. De kracht, die men moet uitoefenen aan de gehele doorsnee van het ligamentum vocale om deze toestand te bereiken, is namelijk steeds groter dan  $\frac{4}{5} \times 150$  g (zie tabel 20).

Bij de geluidsproeven gaan dus geen collageene vezels kapot. Een ander bewijs is het feit, dat de rekproeven van preparaten, die tevoren niet gebruikt zijn voor geluidsproeven, in principe precies dezelfde resultaten geven als preparaten, die tevoren wel voor geluidsproeven zijn gebruikt.

3. De curve eindigt als regel met een horizontaal stuk. (a).

Aan het einde van de rekproef ziet men de lengte geleidelijk aan toenemen, voordat het ligamentum vocale scheurt. (b).

ad 3 (a). Tenslotte gaat die groep collageene vezels kapot, die als laatste gestrekt worden. Als deze laatste groep collageene vezels scheurt, betekent dit ook het einde van de rekproef. Daarom eindigt de curve als regel met een horizontaal stuk.

ad 3(b). Als de laatste groep collageene vezels kapot gaat, zijn de elastische vezels niet meer in staat om de belasting te weerstaan. Daarom ziet men aan het einde van de rekproef de lengte geleidelijk aan toenemen, voordat één van de aanhechtingen bezwijkt.

Dit geleidelijk aan in lengte toenemen, ziet men ook aan het einde van de "voortgezette proef", waarbij het gaat om de maximale belasting van het ligamentum vocale.

4. Elke eenheid slaat dus op een groep collageene vezels, elke groep bezit zijn eigen specifieke rekweerstand. Bestaat de curve uit n-eenheden, dan zijn er ook n-groepen collageene vezels, die achtereenvolgens na elkaar gestrekt worden.

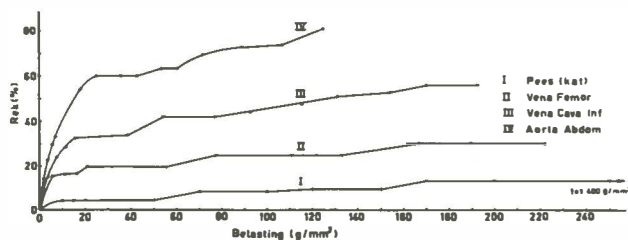


Fig. 47. Curven die worden verkregen, als de rekproef uitgevoerd wordt met de volgende soorten weefsels: kattepees (I), vena femoralis (II), vena cava inferior (III), aorta abdominalis (IV).

IV. 1. 4. De hypothese, dat het verloop van de rekcurven van het ligamentum vocale samenhangt met de aanwezigheid van collagene en elastische vezels, kan met de volgende manieren worden bewezen:

I. Er wordt verband gezocht tussen: enerzijds verschillen in rekdiagram en anderzijds histologische verschillen van kattepees, vena femoralis (mens), vena cava inferior (mens) en aorta abdominalis (mens).

II. Er wordt verband gezocht tussen: enerzijds verschillen in rekdiagram en anderzijds histologische verschillen van het ligamentum vocale van een 21 jarige en dat van een 72 jarige.

ad I. In figuur 47 zijn de rekdiagrammen afgebeeld, die betrekking hebben op de voornoemde reeks. Tevoren vermoedden wij reeds, dat de mate van elasticiteit van de verschillende soorten weefsels afhangt van de relatieve hoeveelheid elastische vezels en de relatieve hoeveelheid collagene vezels. Daarom kozen wij de bovenstaande reeks.

Door de 4 curven onderling te vergelijken, bemerken wij het volgende:

1. Alle 4 curven verlopen in principe terrasvormig.
2. Wij zien, dat in de volgorde: kattepees, vena femoralis, vena cava inferior, aorta abdominalis, de elasticiteit toeneemt. Anders gezegd: bij een gelijke belasting per  $\text{mm}^2$  zien wij in deze volgorde de rek, uitgedrukt in % van de beginlengte toenemen.
3. In deze volgorde ziet men ook, dat het beginpunt van het eerste plateau steeds meer naar rechtsboven verschuift. Wij zien dus, dat dit bewuste punt in deze volgorde bereikt wordt bij steeds grotere belasting per  $\text{mm}^2$  en dat de bijbehorende rekwaarde steeds groter wordt.

De figuren 48, 49, 50, 51 stellen de lengtedoorsneden voor van respectievelijk kattepees, vena femoralis, vena cava inferior, aorta abdominalis (de bloedvaten zijn van de mens afkomstig). Alle microscopische preparaten zijn gekleurd volgens VERHOEFF. De elastische vezels zijn in het gekleurde preparaat donkergrijs tot zwart, de collagene vezels lichtrood. Op de zwart-wit foto zijn de elastische vezels donkergrijs tot zwart en de collagene vezels lichtgrijs. Figuur 52 is een schematische voorstelling van de relatieve hoeveelheid en verloopsvorm van de elastische en collagene vezels.





Fig. 48. Lengtedoorsnee door kattepees. VERHOEFF'S elastine kleuring. 112 maal vergroot.



Fig. 49. Lengtedoorsnee door de wand van de vena femoralis VERHOEFF'S elastine kleuring, 112 maal vergroot. De elastische vezels zijn in het gekleurde preparaat donkergrijs tot zwart, de collagene vezels lichtrood. Op de zwart-wit foto zijn de elastische vezels donkergrijs tot zwart en de collagene vezels lichtgrijs.

vezels te treffen in één lengte - of dwars - coupe.

AdII. Om de hypothese (IV. 1.4) te bevestigen wordt ook het verband nagegaan tussen het verschil in rek-diagram en het histologische verschil van het ligamentum

	Pees (kat)	Vena Femor.	Vena Cava Inf.	Aorta Abdom.
Elast vezels	geen	+     ~	++     ~	+++     ~
Collag. vezels	++++     ≡	+++     ~	++     ~	+     ~

Fig. 52. Schema: relatieve hoeveelheid en verloopsvorm van de elastische en collagene vezels van kattepees, vena femoralis, vena cava inferior, aorta abdominalis.

vocale van een 21 jarige en dat van een 72 jarige.

Toen wij een aantal rekproeven hadden verricht, namen wij kennis van de uitvoerige histologische onderzoeken van de stemplooi van MAYET (1955). Zijn onderzoeken gaven aanleiding tot ons eigen histologisch onderzoek, vooral in verband met de resultaten van de rekproef, in het bijzonder bij sterk uiteenlopende leeftijden. De bevindingen van MAYET zijn de volgende:

1. De rangschikking van de elastische vezels verandert tijdens het leven.

Bij het ligamentum vocale van de pasgeborene zijn de elastische vezels vrijwel uitsluitend netvormig gerangschikt. Met het ouder worden, zal het gebied van de kruisende vezels steeds kleiner worden.

Met het ouder worden, zullen relatief steeds meer elastische vezels parallel in lengterichting verlopen. Typisch is, dat dit gebied van de parallel gerangschikte elastische vezels steeds groter wordt en dat dit gebied zich van mediaal uit steeds meer lateraalswaarts uitbreidt ten koste van de kruisende elastische vezels. In de jeugd en op volwassen leeftijd houden deze twee structuren elkaar ongeveer in evenwicht. Op hoge leeftijd overwegen de parallel verlopende elastische vezels; ze liggen dan dicht naast elkaar.

2. De verhouding tussen de hoeveelheid elastische vezels en de hoeveelheid collagene vezels verandert tijdens het leven:

Bij de pasgeborene overweegt het aantal collagene vezels. Bij het ouder worden stijgt relatief het aantal elastische vezels. Op hoge leeftijd overtreft het aantal elastische vezels sterk het aantal collagene vezels.



Fig. 54. Lengtedoorsnee door het linker ligamentum vocale van een 72 jarige man, VERHOEFF'S elastinekleuring, 100 maal vergroot.



Aan deze coupes ziet men het volgende:

I. Voor het ligamentum vocale van de 72 jarige geldt:

1. wat de *elastische* vezels betreft:
  - a. dat de relatieve hoeveelheid kleiner is;
  - b. dat deze vezels nagenoeg gestrekt verlopen (zeer zwak gekronkeld verlopen);
  - c. dat deze vezels in lengterichting verlopen.
2. wat de *collagene* vezels betreft:
  - a. dat de relatieve hoeveelheid groter is;
  - b. dat deze vezels gekronkeld verlopen (er is geen verschil te zien in de mate van kronkelen met de collagene vezels van de 21 jarige);
  - c. dat deze vezels in lengterichting verlopen.

MAYET (1955) constateerde: "Auch das Mengenverhältnis zwischen elastischen und kollagenen Fasern des Stimmbandes ist vom Alter abhängig. Beim Neugeborenen überwiegt das kollagene Gerüst, beim Greise das elastische". Voor de hoge leeftijd geldt, dat onze bevindingen in tegenspraak zijn met die van MAYET. Bij 5 hierop gecontroleerde preparaten, alle uit de hoge leeftijdsklasse, zien wij steeds weer, dat de hoeveelheid collagene vezels, die van de elastische vezels overtreft. Op grond hiervan menen wij de juistheid van deze conclusie van MAYET te mogen betwifelen.

II. Voor het ligamentum vocale van de 21 jarige geldt:

1. wat de *elastische* vezels betreft:
  - a. dat de relatieve hoeveelheid groter is;
  - b. dat deze vezels veel sterker gekronkeld verlopen dan bij de 72 jarige;
  - c. dat deze vezels in lengterichting verlopen.
2. wat de *collagene* vezels betreft:
  - a. dat de relatieve hoeveelheid kleiner is;
  - b. dat deze vezels gekronkeld verlopen (er is geen verschil te zien in de mate van kronkelen met de collagene vezels van de 72 jarige);
  - c. dat zeer veel vezels (plaatselijk zelfs alle vezels) niet in lengterichting verlopen.

72 j ♂

21 j ♀

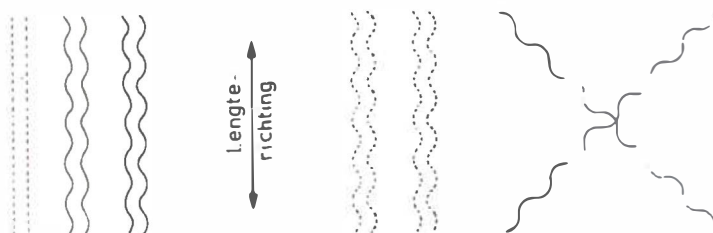


Fig. 56. Schema: relatieve hoeveelheid en verloopsvorm van de elastische vezels (stippellijn) en collagene vezels (getrokken lijn) van het ligamentum vocale van een 72 jarige man en 21 jarige vrouw.



III. Vergelijkt men het histologische beeld van het ligamentum vocale van de 21 jarige met dat van de 72 jarige (fig. 56), dan geldt voor het ligamentum vocale van de 21 jarige :

1. wat de *elastische* vezels betreft:
  - a. dat de relatieve hoeveelheid groter is;
  - b. dat deze vezels meer gekronkeld verlopen;
  - c. zowel bij de 21 jarige als bij de 72 jarige verlopen ze in lengterichting.
2. wat de *collagene* vezels betreft:
  - a. dat de relatieve hoeveelheid kleiner is;
  - b. dat zeer veel vezels niet in lengterichting verlopen;
  - c. wij zien geen verschil in de mate van kronkelen van deze vezels bij de 21 jarige en de 72 jarige.

Uit III. 1. volgt: Bij de 21 jarige is het ligamentum vocale elastischer. Bij dezelfde belasting per  $\text{mm}^2$  doorsnee zal de rek groter zijn.

Uit III. 2. volgt: De 21 jarige heeft een ligamentum vocale, dat een grotere neiging heeft terug te veren; de kracht bij dit terugveren is groter. Dus bij een grotere belasting per  $\text{mm}^2$  doorsnee zal de eerste groep collagene vezels gestrekt worden. Bij de 21 jarige ligt het beginpunt van het eerste plateau dus meer naar rechts-boven.

Resumerend kunnen wij het volgende zeggen:

1. Het verschil in rekbaarheid en in localisatie van het beginpunt van het eerste plateau hangt samen met:
  - a. het verschil in relatieve hoeveelheid *elastische* vezels (dit houdt dus in, dat het ook samenhangt met het verschil in relatieve hoeveelheid *collagene* vezels);
  - b. het verschil in verloopswijze (mate van golven) en verloopsrichting van de *elastische* en *collagene* vezels.
2. De hypothese, dat het aantal plateaus maatgevend is voor het aantal groepen collagene vezels, die verscheurd zijn tijdens de rekproef, is *niet* te bevestigen. Immers het is onmogelijk alle verscheurde collagene vezels op één dwarse - of lengte - doorsnee te treffen.

#### IV. 1. 5. De functie van het ligamentum vocale.

1. Dank zij het *elastisch-collagene* systeem is na een rekking van de stemplooi geen spierarbeid nodig om de rustlengte te herkrijgen. Dit komt dus neer op een aanmerkelijke energiebesparing.

Wordt de stemplooi gerekt door contractie van de musculus cricothyreoideus, dan verlopen de collagene vezels steeds minder gekronkeld en worden de elastische vezels steeds meer gerekt. Vooral bij de 21 jarige wordt dit laatste voorafgegaan door een strekking van de elastische vezels. De rand van de stemplooi komt nu onder grotere spanning.

Wordt de stemplooi weer ontspannen, doordat de musculus cricothyreoideus zich niet meer contraheert, dan zorgen de elastische vezels voor het herstel van de oorspronkelijke lengte van de stemplooi. De elastische vezels zorgen nu voor de verkorting van de stemplooien tot de lengte, die de stemplooi heeft bij ontspannen musculus cricothyreoideus. Voor het herkrijgen van de rustlengte van de stemplooi is dus geen spierarbeid nodig, dank zij de elastische vezels van het elastisch-collagene systeem van het ligamentum vocale.

Het bovenstaande komt overeen met MAYET's opvatting over de functie van het elastisch-collagene systeem in het algemeen en de functie van het elastisch-collagene systeem van het ligamentum vocale in het bijzonder.

Over de functie van het elastisch-collagene systeem in het algemeen zegt MAYET het volgende:

"Der Sinn einer funktionellen Koppelung liegt oft in der Kraftersparnis. Nach stattgefundenen mit Verformung verbundener Beanspruchung kann der Ausgangszustand ohne zusätzliche Hilfe hergestellt werden".

Over de functie van het elastisch-collagene systeem bij het *ligamentum vocale* schrijft MAYET: "Durch Zusammenwirken des elastischen und kollagenen Fasern wird erst die Funktion des Stimmbandes (Ligamentum vocale) als dehnbar-elastische Band ermöglicht. Bei Dehnung des Stimmbandes werden die in Ruhezustand gewellten kollagenen Fasern gestreckt. Gleichzeitig werden die elastischen Elemente gespannt. Erschlaffen die Spannmuskeln, so raffen die elastische Fasern die Kollagenen, wellen sie und stellen die Ausgangslänge des Stimmbandes wieder ein". Vervolgens gaat MAYET verder: "Das elastisch-collagene System ermöglicht einerseits eine für die Phonation nötige weiche und federnde Reaktion des Stimmbandes, andererseits kann das Stimmband, wenn die Spannmuskeln erschlaffen, seine Ausgangslänge selbst tätig herstellen".

2. De eigenschappen van de *collagene vezels* zijn van belang voor de productie van de hoge tonen (falsettonen). De collagene vezels stellen een grens aan de lengte-toename van de stemplooi. Als door contractie van de musculus cricothyreoideus de collagene vezels *gestrekt* zijn, zal van dit ogenblik af een verhoging van de spiercontractie geen *lengte* -toename van de stemplooi(rand) meer opleveren. De *spanning* van de stemplooirand zal echter wel toenemen. Deze toestand is essentieel bij het verkrijgen van hoge tonen (falsettonen).

3. De schuin - en dwars - verlopende *elastische vezels* zorgen voor elastische fixatie van het ligamentum vocale aan de onderlaag en voor elastische samenbundeling van de collagene vezels.

De elastische vezels verlopen vooral bij de kleuter en volwassene ook in schuine, zelfs in dwarse richting.

Bij het heftig heen en weer bewegen van de stemplooirand is het te danken aan de aanwezigheid van de elastische vezels, dat het ligamentum vocale niet afscheurt van de onderlaag. Door de schuin - en dwars - verlopende elastische vezels blijft het ligamentum vocale elastisch en soepel gefixeerd aan de onderlaag (musculus vocalis).

Bovendien wordt door de aanwezigheid van deze elastische vezels ook belet, dat bij de *heftige* bewegingen van de stemplooirand een scheur in lengterichting ontstaat in het ligamentum vocale zelf. Door de schuin - en dwars - verlopende elastische vezels worden dus ook de collagene vezels elastisch samenbundeld.

Bij de grijsaard verlopen de elastische vezels als regel in lengterichting. In verband met de fixatie van het ligamentum vocale op de onderlaag en voor het behoud van het ligamentum vocale zelf, is het een *gelukkige omstandigheid*, dat men op *hoge leeftijd* geen *zeer hoge tonen* meer kan voortbrengen.

#### IV. 1. 6. Het verband tussen ligamentum vocale rekcurven en B II trekkracht-frequentiecurven.

Er bestaat verband tussen de knik van de B II T-Fr curve en het eerste plateau van het meest belaste ligamentum vocale. (Het meest belaste ligamentum vocale zit in de sterker gespannen stemplooirand. Deze stemplooi zal bij de toonproductie de leiding hebben (de toon aangeven); verg. III. 3. 2. conclusie 2).

Dit verband is onafhankelijk van het niveauverschil tussen de twee stemplooien. Dit bovenstaande wordt nagegaan:

I. Ingeval er geen niveauverschil bestaat tussen de stemplooien.

II. Ingeval het niveauverschil tussen de stemplooien gering is.

ad I. *Er bestaat geen niveauverschil tussen de stemplooien* onder andere bij preparaten S 13088 en S 13153.

De knik van de B II T-Fr curve.

- wordt bij preparaat S 13088 (fig. 30) bereikt bij trekkracht 20-25 g (curven 2, 4, 6), 20-30 g (curve 3);

- wordt bij preparaat S 13153 (fig. 12) bereikt bij trekkracht 20-25 g (curven 1-6).

De knik van de B II T-Fr curve wordt bij een preparaat zonder niveauverschil tussen de stemplooien dus bereikt bij een trekkracht van 20-25 g. (bedoeld wordt dus de trekkracht uitgeoefend aan de thyreoidhoek). Bij de stemplooirekcurven verwacht men, dat bij trekkracht van 20-25 g het beginpunt van het eerste (kleine) plateau bereikt wordt. Helaas is dit punt bij de stemplooirekcurven niet exact te achterhalen, daar wij in het begin bij het opvoeren van de trekkracht te grote sprongen maken: 0 g, 20 g, 50 g, 70 g etc.

Op pagina 124 blijkt, dat bij preparaat S 13153 ongeveer  $83\frac{1}{2}\%$  van de aan de thyreoidhoek uitgeoefende trekkracht op rekening van de twee ligamenta vocalia komt.

Bij de ligamentum vocale rekcurven verwacht men, dat het beginpunt van het eerste plateau bereikt wordt als de som van de belasting, uitgeoefend op de twee ligamenta vocalia, iets meer bedraagt dan  $\frac{83\frac{1}{2}}{100} \times 20-25$  g, dus bijvoorbeeld 20 g. Immers de trekkracht wordt opgevangen door de twee ligamenta vocalia, maar ook door het overige weefsel van de stemplooien

Voor preparaat S 13153 (fig. 44) geldt het volgende:\*)

1. Het eerste plateau van het linker ligamentum vocale strekt zich uit van 10-15 g (corresponderend met 4.6-6.8 g/mm<sup>2</sup>); de rek bedraagt 6.5%. Het

---

\*) Dit kan niet worden nagegaan voor preparaat S 13088, want bij dit preparaat is geen ligamentum vocale rekproef en geen stemplooi rekproef gedaan.

eerste plateau van het *rechter* ligamentum vocale strekt zich uit van 10-20 g (corresponderend met 4.0-8.0 g/mm<sup>2</sup>); de rek bedraagt 10%. Op het traject van 10-20 g is het linker ligamentum vocale minder rekbaar; het linker ligamentum vocale vangt dus meer van de trekkracht op dan het rechter.

2. Stel dat men totaal 20 g trekkracht uitoefent aan beide ligamenta vocalia tezamen, dan zal meer dan 10 g op rekening komen van het linker ligamentum vocale; men is dan juist bij het eerste plateau van de linker ligamentum vocale curve. (Het rechter ligamentum vocale vangt dan minder dan 10 g op; men is dan vóór het eerste plateau van de rechter ligamentum vocale curve).

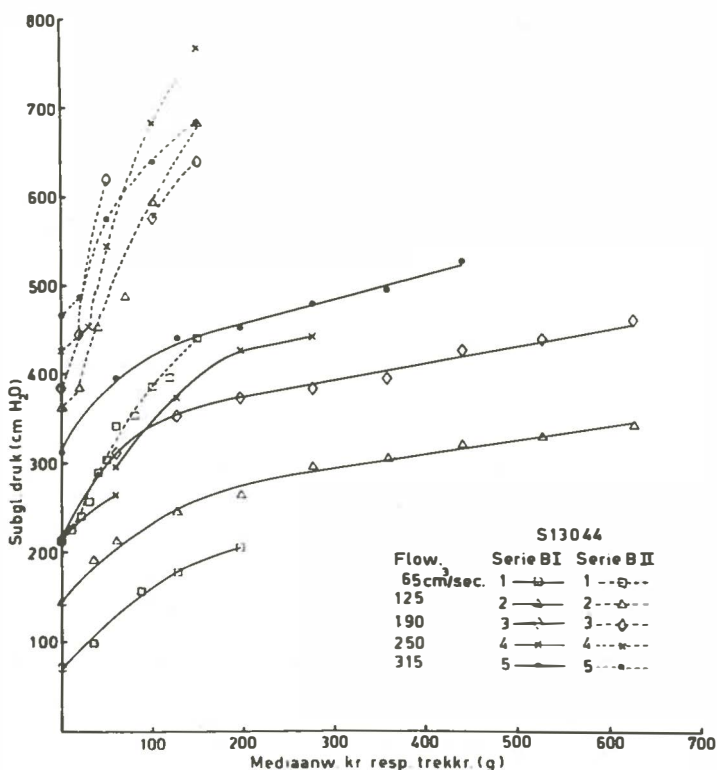


Fig. 57. Het verband tussen trekkracht en frequentie bij de S 13044 B I proeven (het verband tussen mediaanwaartse kracht en frequentie bij de B I proeven wordt buiten beschouwing gelaten).

Conclusie: Is er geen niveauverschil tussen de stemplooien, dan bestaat er verband tussen de knik van de B II T-Fr curve en het eerste (kleine) plateau van het meer belaste ligamentum vocale.

ad II. Het niveauverschil tussen de stemplooien is gering onder andere bij preparaten: S 13044 en S 13200.

De knik van de B II T-Fr curve

- wordt bij preparaat S 13044 (fig. 57) bereikt bij trekkracht 20 g (curven 1, 2, 3, 5). Een uitzondering vormt curve 4, waarbij het omslagpunt bij 30 g wordt bereikt.

- wordt bij preparaat S 13200 (fig. 33) bereikt bij trekkracht 20 g.

De knik van de P II T-Fr curve wordt bij preparaten met gering niveauverschil tussen de stemplooien dan bereikt bij ongeveer 20 g trekkracht.

Men ziet dus, dat onafhankelijk van het niveauverschil tussen de stemplooien (geen niveauverschil of klein niveauverschil) het beginpunt van het eerste plateau bereikt wordt bij ongeveer dezelfde trekkracht (20 g). Het is logisch, dat dit punt bij dezelfde trekkracht bereikt wordt, onafhankelijk van de beginspanning van de "toonaangevende" stemplooi bij trekkracht nul g. Wij stellen wel voorop, dat de beginspanning lager is dan de spanning van de toonaangevende stemplooi bij trekkracht 20 g.

Op pagina 125 blijkt, dat bij preparaat S 13200 ongeveer 83% van de trekkracht op rekening komt van de twee ligamenta vocalia<sup>\*)</sup>.

Men ziet dus, dat ongeacht het niveauverschil tussen de stemplooien (geen of klein niveauverschil) ongeveer 83% van de trekkracht op rekening komt van de twee ligamenta vocalia.

Bij de ligamentum vocale rekcurven verwacht men, dat het beginpunt van het eerste plateau bereikt wordt als de som van de belastingen, uitgeoefend aan de twee ligamenta vocalia, wat groter is dan  $\frac{83}{100} \times 20$  g, dus bijvoorbeeld 18 g.

Voor preparaat S 13200 (fig. 45) geldt het volgende:  
1. Het eerste plateau van het linker ligamentum vocale strekt zich uit van 10-45 g (overeenkomend met 5.3-25.0 g/mm<sup>2</sup>); de rek bedraagt 2.5%. Het eerste plateau van het rechter ligamentum vocale strekt

---

<sup>\*)</sup> Bij preparaat S 13044 is wel een ligamentum vocale rekproef, echter geen stemplooi rekproef gedaan; bij dit preparaat is dit feit dus niet te verifiëren.

zich uit van 10-20 g (overeenkomend met 3.3-6.7 g/mm<sup>2</sup>); de rek bedraagt 10%. Bij deze lage trekwaarden (5-20 g) is het linker ligamentum vocale minder rekbaar en wordt dus meer belast dan het rechter.

2. Stel, dat men totaal 18 g trekkkracht uitoefent aan beide ligamenta vocalia tezamen, dan zal meer dan 9 g op rekening komen van het meer belaste linker ligamentum vocale; men is dan juist op het eerste plateau van het linker ligamentum vocale (Daarentegen zal minder dan 9 g op rekening komen van het rechter ligamentum vocale; men is dan vóór het eerste plateau van de rechter ligamentum vocale rekcurve.

Conclusie: Is het niveauverschil tussen de stemplooi gering, dan zal er verband bestaan tussen de knik van de B II T-Fr curve en het eerste (kleine) plateau van het *meer belaste* ligamentum vocale.

Voor het *prepapaat* S 13044 geldt het volgende:

1. Het eerste plateau van het *linker* ligamentum vocale strekt zich uit van 10-20 g overeenkomend met 11.1-22.2 g/mm<sup>2</sup>; de rek bedraagt 20.5%. Het eerste plateau van het *rechter* ligamentum vocale strekt zich uit van 10-30 g (overeenkomend met 10, 0-30, 0 g/mm<sup>2</sup>); de rek bedraagt 24%. Varieert de trekkracht tussen 10 en 20 g, dan zal het linker ligamentum vocale minder rekbaar zijn; het linker ligamentum vocale wordt dus meer belast dan het rechter.

2. Stel dat men totaal 18 g trekkkracht uitoefent aan beide ligamenta vocalia tezamen, dan zal meer dan 9 g op rekening komen van het meer belaste linker ligamentum vocale; men is dan juist bij het eerste plateau van de linker ligamentum vocale rekcurve. (Het rechter ligamentum vocale vangt dan minder dan 9 g op; men is dan juist voor het eerste plateau van de rechter ligamentum vocale rekcurve).

Conclusie: Voor dit preparaat geldt dezelfde conclusie als die welke geldt voor preparaat S 13200.

Nu volgen nog enkele opmerkingen naar aanleiding van de ligamentum vocale rekcurven van preparaten S 13059, S 13153, S 13200.

1. Ook bij deze lage belastingen (5-20 g) blijkt het linker ligamentum vocale minder rekbaar te zijn dan het rechter (verg. IV. 1.3 punt VII). Dus ook bij deze lage overeenkomstige trekwaarden heeft de linker stemplooi de leiding bij de geluidsproductie.

2. Het meer of minder belast worden van een bepaalde ligamentum vocale staat zuiver in verband met de rekeigenschappen van het ligamentum vocale



bij deze lage belastingen (5-20g). Het staat dus los van de spanningstoestand in situ en is dus ook onafhankelijk van het niveauverschil tussen de stemplooiën. Immers het betreft hier *vrijgeprepareerde ligamenta vocalia*.

#### IV. 2. DE STEMPLOOIREKPROEF.

##### IV. 2. 1. Aanleiding tot de stemplooirekproeven.

Bij de B II proeven (zie hoofdstuk III) voeren wij de trekkracht op van nul tot 300 g. Wij vragen ons af welke lengteverandering de beide stemplooiën ondergaan tijdens dit opvoeren van de trekkracht. Zoals op figuur 41 te zien is, worden bij deze rekproeven, behalve het ligamentum vocale, ook de musculus vocalis, conus elasticus en de bij de stemplooirand gelegen submucosa gerekt.

##### IV. 2. 2. Uitvoering van de stemplooirekproef.

1. De larynx wordt geprepareerd en bevestigd aan een verticale staaf (verg. II).

2. Er worden *geen* arytenoidteugels gebruikt; de reddenen zijn:

a. Bij opvoeren van de trekkracht bewegen de arytenoiden niet naar boven (verg. III. 3. 1).

b. Proefondervindelijk is gebleken, dat de lengten die bij het rekken van de stemplooiën worden gevonden, met of zonder arytenoidteugels, gelijk zijn.

3. De trekkracht, uitgeoefend aan de thyreoidhoek, wordt opgevoerd: 0, 10, 20, 50, 70, 100, 120, 150, 170, 200, 250, 300 g. De trekwaarden worden afgelezen op een geijkte veerbalans.

a. De trek kan men uitoefenen aan de *intacte* thyreoidhoek. Hierbij wordt gelijktijdig getrokken aan beide stemplooiën. De thyreoidhoek wordt intact gelaten als de beide stemplooiën even lang zijn (op het blote oog en bij meting).

Voert men de rekproef uit bij *intacte* thyreoidhoek, dan moet men telkens bij éénzelfde bepaalde trekkracht onmiddellijk na elkaar de lengten van de linker en rechter stemplooi meten. Het is dus niet aan te raden eerst de lengteverandering van de linker plooi na te gaan bij opvoeren van de trekkracht en daarna pas hetzelfde te doen voor de rechter stemplooi. Immers bij de eerste uitvoering van de proef zijn de gemeten waarden van de beide stemplooiën beter onderling vergelijkbaar.

b: De trek wordt uitgeoefend aan de *gekliefde* thy-



reoidhoek. Nu wordt getrokken aan één stemplooi tegelijk. Deze stemplooi ondervindt dan dus ongeveer het dubbele van de belasting, die men aan de *intacte* thyreoidhoek zou hebben uitgeoefend.

4. De afstand tussen processus vocalis uiteinde (gemarkeerd door een draadknoopje) en voorste aanhechting van de stemplooi (achterzijde van de thyreoidhoek) wordt gemeten. Het processus vocalis uiteinde van linker en rechter stemplooi wordt apart gemarkeerd.

Nu volgen enkele *opmerkingen*:

1 Het is begrijpelijk, dat bij opvoeren van de trekkracht het lengteverschil tussen de twee stemplooien groter wordt.

Verklaring: Voert men de trekkracht op, dan zal het draadknoopje (dat immers overeenkomt met de punt van de processus vocalis) naar voren verschuiven, doordat het weefsel gelegen achter het draadknoopje (dus het weefsel craniaal van de processus vocalis) met het toenemen van de trekkracht steeds meer gerekt wordt. Is er verschil in nullengte tussen de twee stemplooien dan komt dit, doordat achter de draadknopen weefsel van verschillende lengte gelegen is. Neemt men aan, dat dit bovenbedoelde weefsel van beide kanten ongeveer dezelfde rekeigenschappen bezit, dan zal bij opvoeren van de trekkracht beide knopen naar voren verschuiven. De voorste knoop zal echter meer naar voren verschuiven dan de achterste. De achterste knoop zal dus steeds meer achterop raken. Het lengteverschil tussen de twee stemplooien wordt dus steeds groter met het opvoeren van de trekkracht.

2 Zijn de stemplooien even lang en bewegen de thyreoidvleugels bij opvoeren van de trekkracht *symmetrisch* naar voren, dan kan men bij de stemplooi-rekproef met *intacte* thyreoidhoek volstaan met de lengteverandering na te gaan aan één van de stemplooien. De andere stemplooi ondergaat dan dezelfde lengteverandering (fig. 58).

3 Zijn de stemplooien niet evenlang (in onbelaste toestand) of/en bewegen de twee thyreoidvleugels bij opvoeren van de trekkracht *niet symmetrisch* naar voren, dan is het nodig de lengteverandering aan beide stemplooien na te gaan (fig. 59, 60): bij preparaten S 13200 en S 13241 is in onbelaste toestand de rechter stemplooi langer dan de linker).

4. Na klieven van de thyreoidhoek neemt de nullengte van de beide stemplooien toe in vergelijking tot die bij *intacte* thyreoidhoek. Dit feit blijkt in alle hierop gecontroleerde gevallen.

IV.2.3. Bespreking van de resultaten van enkele preparaten, waarbij stemplooi - en ligamentum vocale - rekproeven zijn uitgevoerd.

Achtereenvolgens worden de resultaten van drie preparaten besproken: S 13153, S 13200, S 13241. (Het eerste is een normaal preparaat, het tweede een bijzonder en het derde een abnormaal preparaat).

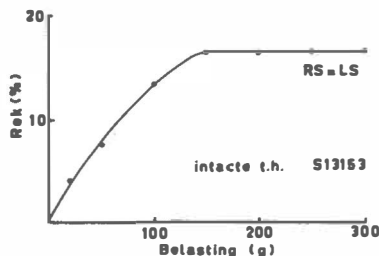


Fig. 58. Rekcurven van rechter stemplooi (RS) en linker stemplooi (LS) van preparaat, S 13153 bij intacte thyreoidhoek (intacte t.h.).

I. Preparaat S 13153, ♂ 65 jaar (fig 58).

1. Dit is een volkomen *normaal preparaat*. De stemplooiën zijn in onbelaste toestand evenlang (de processus vocales reiken evenver naar voren). Bij opvoeren van de trekkracht beweegt de thyreoidhoek symmetrisch naar voren.

De *stemplooirekproef* is uitgevoerd bij intacte thyreoidhoek. Daar de stemplooiën in onbelaste toestand evenlang zijn, is de lengteverandering alleen nagegaan aan de rechter stemplooi. (Tevoren is namelijk gebleken, dat bij deze normale preparaten de lengte verandering aan beide kanten identiek is).

2. Bij de ligamentum vocale rekproef blijkt, dat de doorsnee van het rechter ligamentum vocale groter is dan die van het linker. Ook blijkt het rechter ligamentum vocale rekbaarder te zijn dan het linker, ongeacht de grootte van de belasting.

3. Als men de trekkracht opvoert, zal het *minder* rekbaar ligamentum vocale *meer* belast worden. Het *linker* ligamentum vocale dus wordt het meest belast.

De verklaring luidt als volgt:

a. Uit de stemplooirekproef (fig. 58) blijkt, dat bij variatie van de trekkracht tussen 150 en 300 g, de rek dezelfde blijft (16.5%).

b. Uit de ligamentum vocale rekproef (fig. 44) blijkt: - dat de rek van 16.5% wordt bereikt als men het

linkerligamentum vocale belast met ruim 200 g en als men het rechter ligamentum vocale belast met ongeveer 50 g (bedoeld wordt de belasting van de gehele doorsnee van een ligamentum vocale). (a).

- dat het rechterligamentum vocale meer rekbaar is dan het linker. Immers bij éézelfde belasting per  $\text{mm}^2$  doorsnee ziet men, dat (ongeacht de grootte van de belasting) het rechter ligamentum vocale meer rekbaar is. (b).

Uit (a) en (b) volgt, dat als men trek uitoefent aan de thyreoidhoek, het minder rekbare linkerligamentum vocale meer belast wordt.

4. Het grootste deel van de aan de thyreoidhoek uitgeoefende trekkracht wordt opgevangen door de twee ligamenta vocalia; in de regel bedraagt dit ruim 80%. Dit geldt zowel voor een normaal preparaat als voor een preparaat dat niet helemaal normaal is (prep. S 13241 of prep. S 13200).

Verklaring: Voor preparaat S 13153 geldt: Wil men het linker, respectievelijk rechter ligamentum 16.4% doen rekken, dan is een belasting nodig van ruim 200 g, respectievelijk ongeveer 50 g (totaal dus ongeveer 250 g). Bij 300 g belasting aan de thyreoidhoek bedraagt de rek 16.5% (fig. 58). Als men dus 300 g trekkracht uitoefent aan de thyreoidhoek, zal ongeveer  $83\frac{1}{2}\%$  op rekening komen van de twee ligamenta vocalia.

Dat bij deze "grote" krachten het spierweefsel niet meer van betekenis is, volgt uit het feit, dat zowel bij de stemplooirekproef als bij de ligamentum vocale rekproef krachten worden uitgeoefend, die ver boven 50 g per  $\text{mm}^2$  uitgaan. Daar de maximale spanning die door spierweefsel kan worden opgebracht 50 g per  $\text{mm}^2$  bedraagt, zal het dus wel een ander soort weefsel met een veel grotere rekweerstand moeten zijn, die deze grote belastingen kan doorstaan. Dit blijkt het weefsel van het ligamentum vocale te zijn.

II. Preparaat S 13200, ♂ 66 jaar (fig. 59).

1. Dit is een *bijzonder* preparaat. (Het is echter nog geen abnormaal preparaat).

- De rechter stemplooi (dus ook het ligamentum vocale) is langer; de rechter processus vocalis reikt namelijk minder ver naar voren dan de linker.

- Bij opvoeren van de trekkracht valt op, dat de thyreoidhoek niet alleen naar voren verschuift, maar ook een draaiing maakt tegen de wijzers van de klok in (van boven af gezien). De rechter thyreoidvleugel beweegt dus naar links-voor.

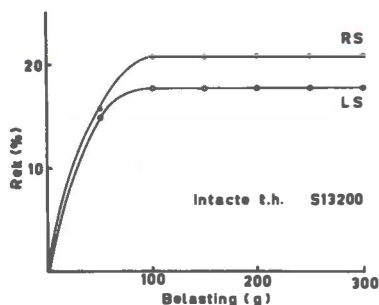


Fig. 59. Rekcurven van rechter stemplooi (RS) en linker stemplooi (LS) van preparaat S 13200 bij intacte thyreoïdhoek (intacte t.h.).

2. Bij dit preparaat zien wij, evenals bij een volkomen normaal preparaat:

- dat de doorsnee van het rechter ligamentum vocale groter is dan die van het linker (verg. IV. 1.3 punt VII);
- dat het rechter ligamentum vocale meer rekbaar is dan het linker (verg. IV. 1.3 punt VII). Ook bij dit typische preparaat geldt dus, dat het rechter ligamentum vocale een grotere doorsnee heeft en meer rekbaar is.
- dat de rechter stemplooi meer rekbaar is dan de linker (fig. 59).

3. Bij dit typische preparaat ziet men, dat het *meer* rekbare ligamentum vocale meer belast wordt, terwijl immers in normale gevallen het *minder* rekbare ligamentum vocale meer belast wordt.

Toelichting: Uit de *stemplooi*rekproef (fig. 59) blijkt, a. dat de linker stemplooi minder rekbaar is (ongeacht de grootte van de belasting);

b. dat bij variatie van de trekkracht tussen 100 en 300 g de rek van de stemplooiën niet verandert. Voor de linker stemplooi, respectievelijk rechter stemplooi bedraagt dit 17.5% respectievelijk 20.5%.

Uit de *ligamentum vocale* rekproef (fig. 45) blijkt, - dat 17.5% rek bij het linker ligamentum vocale bereikt wordt bij een totale belasting van een kleine 100 g;

- dat 20.5% rek bij het rechter ligamentum vocale bereikt wordt bij een totale belasting van ruim 150 g.

Bij dit preparaat wordt het *meer* rekbare rechter ligamentum vocale dus meer belast. Dit is te begrijpen, als men voor ogen houdt, dat bij opvoeren van de trekkracht de thyreoïdhoek de eigenaardige draaiing uitvoert.

4. Het grootste deel (ruim 80%) van de trekkracht, uitgeoefend aan de thyreoidhoek, wordt opgevangen door de beide ligamenta vocalia.

Verklaring: Om het linker ligamentum vocale 17.5% te doen rekken, is een totale belasting nodig van 100 g. Om het rechter ligamentum vocale 20.5% te doen rekken, is een totale belasting nodig van ruim 150 g (het totaal bedraagt 250 g). Als men 300 g trekkracht aan de thyreoidhoek uitoefent, zal dus ongeveer 250 g (ongeveer  $83\frac{1}{2}\%$ ) op rekening komen van de beide ligamenta vocalia.

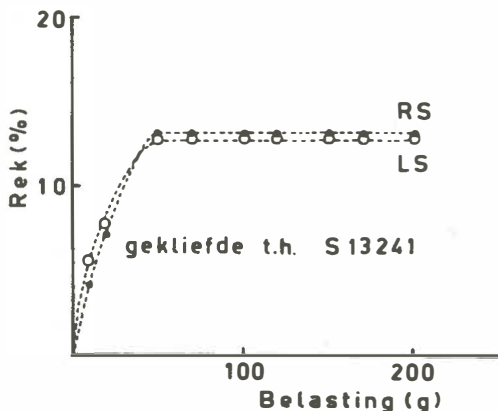


Fig. 60. Rekcurven van rechter stemplooi (RS) en linker stemplooi (LS) van preparaat S 13241 bij gekliefde thyreoidhoek (gekliefde t.h.). De curven vallen nagenoeg samen.

### III. Preparaat S 13241, ♂ 64 jaar (fig. 60).

1 Dit is een *abnormaal* preparaat.

- De linker processus vocalis reikt verder naar voren; de linker stemplooi is korter.

- De mediocraniale rand van de linker stemplooi is torpedo-achtig verdikt.

2. De ligamentum vocale rekproef wordt bij dit preparaat alleen aan de rechter kant uitgevoerd; de linker stemplooi, waarvan de rand torpedo-achtig verdikt is, wordt pathologisch-anatomisch onderzocht (uitslag: chronisch ontstekings-proces).

3. Onderstaande opmerkingen (a, b) hebben betrekking op de toestand, waarbij de thyreoidhoek gekliefd is.

a. Het blijkt dat na het klieven van de thyreoidhoek de nullengte van de beide stemplooien toeneemt. Voor de rechter stemplooi bedraagt de nullengte vóór respectievelijk na het klieven van de thyreoidhoek: 16.0 mm respectievelijk 16.7 mm. Voor de linker stem-

plooi bedraagt de nullengte in dezelfde volgorde: 13.1 mm, respectievelijk 14.0 mm. Bij gelijke belasting is de rek na het klieven dus minder dan die vóór het klieven (immers de nullengte is na het klieven al groter en de rek wordt uitgedrukt in % van de nullengte).

b. Bij dit preparaat (S 13241) blijken de getrokken curven van de linker en rechter stemplooi vrijwel identiek te verlopen. De linker en rechter stemplooi hebben dus ongeveer identieke elastische eigenschappen, ondanks dat het een *abnormaal* preparaat betreft.

#### IV.2.4. Bespreking van de resultaten van de stemplooi-curven.

Zowel voor mannelijke als voor vrouwelijke larynx-preparaten geldt het volgende:

1. *Het verloop van de stemplooi-curve ; hypothese omtrent het ontstaan.*

De curve bestaat uit twee delen, respectievelijk overeenkomend met de rekbare en onrekbare toestand van het ligamentum vocale. Het tweede deel van de stemplooi-rek-curve (plateau) komt overeen met de toestand, waarbij de eerste groep collage-ne vezels van het ligamentum vocale *gestrekt* zijn.

*Er worden geen collage-ne vezels verscheurd*, doordat de toestand, overeenkomend met het einde van het tweede plateau van de ligamentum vocale rek-curve, niet bereikt wordt. Bij de stemplooi-rek-proef met gekleefde thyreoidhoek wordt de belasting opgevoerd tot 200 g (uit te oefenen aan één stemplooi). Wij weten, dat ruim 80% van deze belasting op rekening komt van het ligamentum vocale. Uit de totale belasting, uit te oefenen aan een ligamentum vocale om de bovenbedoelde toestand (verscheuring van collage-ne vezels) te bereiken, kunnen wij de belasting berekenen die uitgeoefend had moeten worden aan een stemplooi. Dit blijkt steeds groter te zijn dan 200 g (zie tabel 21).

Het is begrijpelijk, dat wij aan de stemplooi-curve niets zien dat overeenkomt met het *eerste* plateau van de ligamentum vocale curve. Wij maken bij de stemplooi-rek-proef in het begin relatief grote sprongen bij het opvoeren van de belasting: 0, 10, 20, 50, 70 g etc.

2. Bij *intacte* thyreoidhoek verlopen de stemplooi-curven van linker en rechter kant gelijk (fig. 58), tenzij het een bijzonder of *abnormaal* preparaat betreft (fig. 59. 60).

Tabel 21.

Uit de totale belasting, die men aan de gehele doorsnee van een ligamentum vocale moet uitoefenen om bij een rekcurve het einde van het tweede plateau te bereiken (2e kolom), kan men de belasting berekenen, die uitgevoerd had moeten worden aan de stemplooi (3e kolom).

Preparaat		Totale belasting aan lig. vocale	$\frac{100}{83} \times$ totale belasting
		(g)	(g)
S 13059	R	300	360
	L	220	265
S 13153	R	406	490
	L	200	240
S 13200	R	210	255
	L	450	540

Bij gekielde thyreoidhoek vertonen de linker en rechter stemplooi-curven de neiging ongelijk te verlopen. Dit is begrijpelijk, daar na het klieven van de thyreoidhoek de twee thyreoidhoeken los van elkaar zijn en de nullengte van de stemplooien toeneemt. Als regel zullen deze nullengten niet in gelijke mate toenemen.

3. De rechter stemplooi is als regel meer rekbaar dan de linker. Dit blijkt uit alle stemplooi-rekcurven en dit klopt met de waarneming, dat het rechter ligamentum vocale als regel meer rekbaar is (verg. IV. 1.3 punt VII).

4. De linker stemplooi beheerst de toonproductie. De linker stemplooi is als regel minder rekbaar en de spanning van de rand is groter dan die van de rechter stemplooi. Met andere woorden: de linker stemplooi is minder gedempt dan de rechter en beheerst dus de toonproductie.

Wij zijn geneigd verband te zoeken tussen de overheersende rol, die de linker stemplooi als regel speelt en het spraakcentrum van BROCA, dat bij rechtshandigen immers in de voet van de derde frontaalwinding links gelegen is. Op grond van het volgende lijkt ons dit verband echter niet logisch. Als het centrum van BROCA impulsen zou uitzenden naar één van beide stemplooien, dan zou dit bij rechtshandigen de rechter stemplooi moeten zijn. De rand van de rechter stemplooi zal dan meer gespannen moeten zijn en de rechter stemplooi zou de leiding moeten hebben bij de toonproductie (verg. III. 3.2 conclusie 2.). Dit laatste blijkt echter als regel niet het geval te zijn.



De overheersing van de linker stemplooi geldt kennelijk ook bij de zeer lage trekwaarden van 5-20 g per stemplooi, dus bij aan de thyreoidhoek uitgeoefende trekkracht van 10-40 g.

IV. 3. SAMENVATTING: De belangrijkste bevindingen van dit hoofdstuk kunnen wij als volgt samenvatten.

1. Bij de geluidsproeven (hoofdstuk III) gaan geen (collagene) vezels van het ligamentum vocale kapot.

2. Het ligamentum vocale doorstaat belastingen, die ver uitgaan boven de maximale krachten, die spierweefsel kan opbrengen.

3. Er bestaat zeer waarschijnlijk in het algemeen bij verschillende weefsels verband tussen rekdiagram en de relatieve hoeveelheid en verloop van de elastische en collagene vezels. Dit geldt ook voor het ligamentum vocale.

4. Dank zij het elastisch-collagene systeem van het ligamentum vocale is geen energie nodig om de rustlengte te herkrijgen. De collagene vezels van het ligamentum vocale zijn van belang voor de productie van falsettonen. Een deel van de elastische vezels speelt een rol bij de fixatie van het ligamentum vocale aan de onderlaag.

5. Er kunnen grote verschillen in rekbaarheid van de twee ligamenta vocalia optreden; dit geldt eveneens voor linker en rechter stemplooi.

Het rechter ligamentum vocale heeft als regel een grotere doorsnee en is als regel meer rekbaar dan het linker ligamentum vocale.

De linker stemplooi speelt bij de geluidsproductie een overheersende rol. Het verband met het spraakcentrum van BROCA (dat bij rechtshandigen in de voet van de derde frontaalwinding links gelegen is) wordt verworpen.

6. Er bestaat verband tussen de rekeigenschappen van het ligamentum vocale en de overgang naar het falsetregister. Deze overgang kan geleidelijk of sprongsgewijs plaats vinden; in het laatste geval treedt een registerovergang op.

7. 83% van de trekkracht, uitgeoefend aan de thyreoidhoek, wordt opgevangen door de ligamenta vocalia, bij niet gecontraheerde musculus vocalis.



## HOOFDSTUK V.

### STROBOSCOPIE VAN HET LARYNXPREPARAAT ONDER ZOVEEL MOGELIJK FYSIOLOGISCHE OM- STANDIGHEDEN.

#### V. 0. INLEIDING.

Met behulp van stroboscoop en delta f-generator is het mogelijk het bewegingspatroon van de stemplooien te bestuderen. De stroboscoop zendt periodiek lichtflitsen uit. De delta f-generator (ontwerp: VAN DEN BERG) regelt automatisch het aantal lichtflitsen van de stroboscoop en wel zodanig, dat *constant* een gering verschil in frequentie tussen geproduceerde toon en aantal lichtflitsen wordt aangehouden, ook als de toon geleidelijk verandert. Als de frequentie van de grondtoon  $f$  bedraagt, kan men de stemplooibewegingen waarnemen, indien de stroboscoop lichtflitsen uitzendt met een frequentie van  $\frac{f - \Delta f}{n}$ , waarbij  $n = 1, 2, 4, 8$ , terwijl  $\Delta f$  gevarieerd kan worden tussen 0.5 en 2. Veronderstelt men, dat dit verschil 2 per seconde bedraagt, dan lijkt het alsof de stemplooien bewegen met een frequentie van 2 "trillingen" per seconde.

Achtereenvolgens worden behandeld:

V. 1. Resultaten en bespreking van een enkele bijzondere waarneming bij borst-, midden- en falsettonen.

V. 2. Resultaten en bespreking van enkele waarnemingen bij borsttonen.

V. 3. Resultaten en bespreking van enkele waarnemingen bij borst- en lagere middentonen.

V. 4. Resultaten en bespreking van enkele waarnemingen bij hogere midden- en falsettonen.

De indeling is afhankelijk van de wijze, waarop de geluidsproeven worden uitgevoerd (III. 1.).

#### V. 1. STROBOSCOPIE BIJ BORST-, MIDDEN- EN FALSETTONEN.

##### *Dubbeltoon.*

Bij sommige preparaten treedt een dubbeltoon op bij een zeer bepaalde combinatie van flow, mediaanwaartse kracht en trekkracht. Voorbeelden:

1. Bij preparaat S 13088 treedt bij flow 3 atm (195 cm<sup>3</sup>/sec), mediaanwaartse kracht 15 mm Hg (197 g) en trekkracht 7 g een dubbeltoon op: 160 Hz en 203 Hz. Deze dubbeltoon, bestaande uit 2 middentonen, wordt geproduceerd bij een constante  $P_s$  van 23 cm H<sub>2</sub>O.

2. Bij preparaat S 13153 treedt bij flow 1 atm ( $65 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ), mediaanwaartse kracht 15 mm Hg (197 g) en trekkracht 0 g een dubbeltoon op: 148 Hz en 203 Hz. Deze dubbeltoon, bestaande uit 2 middentonen, wordt geproduceerd bij een constante Ps van 9 cm  $\text{H}_2\text{O}$ .

3. Bij preparaat S 13153 treedt bij flow 2 atm ( $125 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ), mediaanwaartse kracht 22 mm Hg (310 g) en trekkracht 0 g een dubbeltoon op: 427 Hz en 624 Hz. Deze dubbeltoon, bestaande uit 2 falsettonen, wordt geproduceerd bij een constante Ps van 36 cm  $\text{H}_2\text{O}$ .

Uit bovenstaande voorbeelden kunnen wij de volgende conclusies trekken:

a. Een dubbeltoon kan optreden in alle 3 registers en wel bij een zeer bepaalde combinatie van flow, mediaanwaartse kracht en trekkracht. De Ps is constant.

b. De *lagere* frequentie komt overeen met de bewegingsfrequentie van de *massa* van de stemplooien. De *hogere* frequentie komt overeen met de bewegingsfrequentie, van de *rand* van de stemplooien.

Dit bovenstaande blijkt bij stroboscopische waarneming, als men het aantal lichtflitsen eerst op de lagere en daarna op de hogere frequentie instelt.

c. De 2 frequenties van een dubbeltoon verhouden zich tot elkaar als eenvoudige gehele getallen, respectievelijk: 4:5, 3:4, 2:3 (160:203, 148:203, 420:630).

## V. 2 RESULTATEN EN BESPREKING VAN DE WAARNEMINGEN BIJ BORSTTONEN.

V. 2. 0. Borsttonen worden geproduceerd bij kleine flow, kleine mediaanwaartse kracht en trekkracht 0 g.

V. 2. 1. Bij de borsttonen beweegt de gehele stemplooi, dus ook het gedeelte boven (= craniaal) van de processus vocalis. Hoe lager de borsttoon, hoe beter dit verschijnsel is waar te nemen.

Bij een lagere borsttoon zal een bredere zone (van boven gezien) van het bovenbedoeld weefsel meedoen, de amplituden zijn groter. Dit neemt men waar bij alle preparaten, waarbij lage borsttonen kunnen worden geproduceerd.

V. 2. 2. A. Wat gebeurt in de buurt van de processus vocales, als men *zonder flow* de mediaanwaartse kracht opvoert van nul tot zeer kleine waarden (enkele mm Hg)? De stemplooien bewegen niet, zodat wij voor deze waarnemingen dus geen stroboscoop nodig hebben.

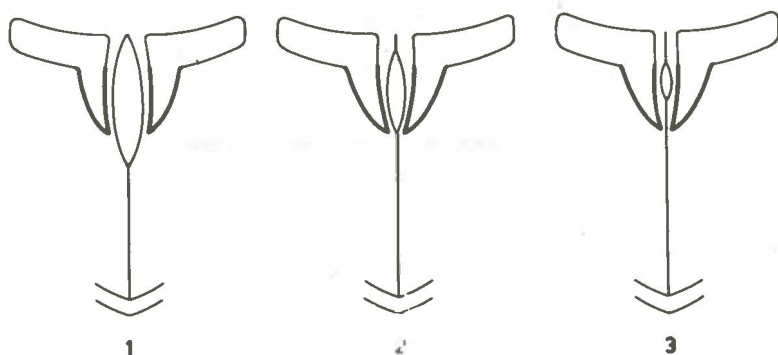


Fig. 61. Bij opvoeren van de mediaanwaartse kracht zonder flow zien wij achtereenvolgens de toestanden 1, 2, 3 (schematisch). Verklaring: zie tekst.

Achtereenvolgens krijgt men bij het opvoeren van de mediaanwaartse kracht de volgende toestanden (fig. 61):

1. Wordt *geen* mediaanwaartse kracht uitgeoefend (fig. 61, 1), dan ziet men, dat de voorste delen van de stemplooiën elkaar in de mediaanlijn raken, terwijl dit bij de achterste delen niet het geval is.

- Het open deel en het gesloten deel van de stemspleet zijn ongeveer evenlang.

- De processus vocales begrenzen de middelste *helft* van het open deel. Het voorste vierde deel van het open gedeelte wordt begrensd door het ligamentum vocale; het achterste vierde deel wordt begrensd door de mediale vlakte van het corpus van het arytenoid.

2. Als de uiteinden van de processus vocales elkaar raken, ziet men (fig. 61, 2).

- dat het open deel van de stemspleet kleiner is geworden.

- dat het open deel van de stemspleet reikt van een punt, iets achter de overgang processus vocalis - corpus gelegen tot het uiteinde van de processus vocalis.

3. De laatste rest van het open deel van de stemspleet (fig. 61, 3) grenst aan de dorsale helften van de processus vocales en reikt dus van de processus vocalis - corpus overgang tot het midden van de processus vocalis.

4. Bij nog verder opvoeren van de mediaanwaartse kracht - de mediaanwaartse kracht bedraagt nu slechts enkele mm Hg - zal ook het laatste open deel van de stemspleet verdwijnen. Nu raken de medio-

craniale randen van de stemplooien in de buurt van de processsi vocales elkaar en bijlage flowwaarden zullen nu de laagste borsttonen kunnen worden geproduceerd (zie B).

B Wat gebeurt in de buurt van de processsi vocales als men bij zeer lage flowwaarden de mediaanwaartse kracht opvoert van nul tot zeer kleine waarden (enkele mm Hg). Anders gezegd: Wat is het mechanisme, als men de toonhoogte opvoert in het laagste gedeelte van het borstregister?

Bij het opvoeren van de mediaanwaartse kracht van nul tot zeer lage waarden, krijgt men achtereenvolgens de volgende toestanden:

1. De mediocraniale randen van de stemplooien in de buurt van de processsi vocales zullen elkaar *het eerst* raken, terwijl de meer caudale delen elkaar nog niet raken (Is de mediaanwaartse kracht nul g en voert men zeer geleidelijk deze kracht op, dan ziet men, dat de processsi vocales niet zuiver mediaanwaarts *schuiven* maar ook een beetje mediaanwaarts *kippen*).

Nu doet het weefsel craniaal van de processsi vocales mee en worden de laagste borsttonen geproduceerd.

2. Vervolgens zullen de meer caudale delen van de stemplooien in de buurt van de processsi vocales op elkaar gedrukt worden en nu strijkt geen lucht meer langs de mediocraniale rand van het meest dorsale deel van de stemplooien. Dit meest dorsaal gelegen weefsel, grenzend aan de processsi vocales, zal nu niet meer meebewegen. Het bewegende deel van de stemplooien wordt korter en de toonhoogte stijgt.

Hoe meer men nu de mediaanwaartse kracht opvoert, hoe verder caudaal gelegen niveaus van de processsi vocales tegen elkaar gedrukt worden, totdat tenslotte de mediale vlakken van de processsi vocales volledig tegen elkaar gedrukt zijn.

V.2.3. De productie van de laagste borsttonen is niet mogelijk, als men voorkomt dat het weefsel craniaal van één of beide processsi vocales meetrilt. Dit laatste bereikt men op de volgende wijzen:

1. Door vergroten van de massa van het weefsel.

a. Men kan een naald insteken in het weefsel, craniaal van een processus vocalis.

b. Men kan een weke kwaddel craniaal van de processus vocalis nabootsen door een paraffinemengsel in te spuiten, waarvan het smelttraject enkele graden hoger ligt dan de temperatuur van de omgeving (kamertemperatuur).

2. Door vergroten van de *stijfheid* van het weefsel, craniaal van een *processus vocalis*. In dit geval bootst men een vaste kwaddel na door een paraffine-mengsel in te spuiten, waarvan het smelttraject veel hoger ligt dan de temperatuur van de omgeving.

Het onder 1. b. en 2 genoemde is niet verder proef-ondervindelijk uitgewerkt.

Ad 1 a. Men voorkomt het meebewegen van de massa, craniaal van de *processi vocales*, door aan één of beide zijden een naald in deze massa te steken, die wel of niet verzwaard kan worden. Het verzwaren geschiedt met behulp van een koperdraadbeugel. I. *Proef I*. Alleen aan één kant (in de proef aan de linker kant) wordt een *niet* verzwaarde naald gestoken en wel in de massa, craniaal van het *corpus* van het arytenoid, in mediocaudodorsale richting.

Bij flow 2 atm ( $125 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ), mediaanwaartse kracht  $6\frac{1}{2} \text{ mm Hg}$  (80 g) en bij afwezigheid van trek, produceert het preparaat afwisselend 2 tonen: 74 Hz bij Ps 7 cm  $\text{H}_2\text{O}$  en 84 Hz bij Ps  $3\frac{1}{2} \text{ cm H}_2\text{O}$ .

Bij de *lagere* toon (74 Hz) ziet men de naald wel meebewegen; het weefsel craniaal van het *corpus* van het arytenoid beweegt dus mee. Bij de *hogere* toon (84 Hz) ziet men de naald niet trillen; het bovenbedoelde weefsel beweegt dus niet mee en de amplituden van de bewegende stemplooien zijn nu kleiner.

Conclusie: Doorde *onverzwaarde naald* van één kant te steken in de massa craniaal van het *corpus* van het arytenoid krijgt men een voortdurendhinken tussen 2 tonen: 74 Hz en 84 Hz (aaneenschakeling van toonsprongen). Het preparaat "twijfelt" dus tussen 2 niveaus, die als glottisrand fungeren en afwisselend zal het weefsel craniaal van het *corpus* van het arytenoid wel of niet meebewegen.

Wordt de *naald verzwaard* (koperdraadbeugel) - dus nog steeds bij flow 2 atm ( $125 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ), mediaanwaartse kracht  $6\frac{1}{2} \text{ mm Hg}$  (80 g) en zonder trekkracht -, dan ziet men, dat slechts één toon wordt geproduceerd: 88 Hz bij Ps 4 cm  $\text{H}_2\text{O}$ . Deze toon komt overeen met de hogere toon. Het bovenbedoelde weefsel beweegt nu niet mee.

II. *Proef II* Alleen aan één kant (bij deze proef de linker kant) wordt een naald gestoken in de massa craniaal van de *processus vocalis* en wel in zuiver caudale richting (de naald bevindt zich nu dus iets meer ventraal dan die bij proef 1).

Bij flow 2 atm ( $125 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ), mediaanwaartse kracht  $3\frac{1}{2} \text{ mm Hg}$  (42 g) en zonder trek wordt één toon geproduceerd: 102 Hz bij Ps 3 cm  $\text{H}_2\text{O}$ .

Het weefsel craniaal van de processus vocalis beweegt *niet* mee; met andere woorden: het deel van de stemplooien vóór de naald beweegt wel mee, het deel van de stemplooien achter de naald beweegt *niet* mee.

Conclusie: Door de *niet* verzwaarde naald aan één kant te steken in het weefsel craniaal van de processus vocalis voorkomt men het meebewegen van dit bovenbedoelde weefsels en voorkomt men de productie van de laagste borsttonen.

In principe hetzelfde is te verwachten, als men aan beide zijden (symmetrisch) een naald insteekt. Men kan zich voorstellen, dat men nu met ongeveer de halve vergroting van de massa uitkomt (naalden van het halve gewicht).

Om de conclusie, die betrekking heeft op het éénzijdig insteken van de naald te bevestigen, werd tijdens de proef de naald eruit getrokken (terwijl dus de overige omstandigheden gelijk zijn gebleven: flow 2 atm ( $125 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ), mediaanwaartse kracht  $3\frac{1}{2} \text{ mm Hg}$  (42 g) en zonder trek. De frequentie verandert; er wordt nu een lagere toon geproduceerd: 72 Hz bij Ps 7 cm H<sub>2</sub>O.

Uit de conclusies van de 2 proeven, die als kenmerkend kunnen worden beschouwd (de resultaten van 6 preparaten waren steeds hetzelfde) blijkt:

a. De productie van de *laagste* borsttonen kan men voorkomen door vergroten van de massa, craniaal van een processus vocalis of craniaal van het corpus van het arytenoid.

b. In het tweede geval is een sterke vergroting van de massa nodig (immers bij proef 1 is het nodig de naald te verzwaren, opdat het weefsel craniaal van de processus vocalis niet mee beweegt).

#### V. 2. 4. *Fluweelachtige toon.*

I. Bij enkele preparaten hoort men, als men de mediaanwaartse kracht zeer geleidelijk opvoert, uitgaande van de nulwaarde, dat voorafgaand aan defysiologisch laagste borsttonen een tijdlang een fluweelachtige toon wordt geproduceerd. De fluweelachtige toon werd steeds verkregen bij gekruiste teugels. De toevoeging "*fysiologisch*" is wel nodig in tegenstelling tot de *niet*-fysiologische laagste borsttonen (III. 2. 2. punt 1). De overgang tussen fluweelachtige toon en eerste borsttoon treedt *plotseling* op.

II. Er zijn *verschillen* tussen:

- |   |  |
|---|--|
| de fluweelachtige tonen   | en de laagste borsttonen:  |
| a. fluweelachtige, hogere toon van kleinere intensiteit.  | a. grovere, lagere toon van grotere intensiteit.   |
| b. ze treden op bij mediaanwaartse kracht nul of nagenoeg nul mm Hg en zonder trek.   | b. ze treden op bij lage waarden van de mediaanwaartse kracht (enkele mm Hg) en zonder trek. |
| c. tijdens de "sluitingsfase" is, de stemspleet <i>niet</i> gesloten (de stemspleet is nog net niet dicht; er blijft een zeer smal spleetje over. Op grond van deze waarneming zou men de fluweelachtige toon kunnen beschouwen als een bijzonder soort falsettoon. | c. tijdens de "sluitingsfase" is de stemspleet dicht.  |

III. De overgang van fluweelachtige toon naar borsttoon is op te vatten als een bijzonder soort registerovergang. Ook nu ziet men weer, dat de *hogere* (fluweelachtige) toon gepaard gaat met een *lagere* Ps. Immers bij de hogere toon raken de stemplooien elkaar niet tijdens de sluitingsfase. Bovendien is bij de hogere toon de gemiddelde opening van de stemspleet groter (verg. pag. 60 ).

IV. a. Vóórdat de laagste borsttoon optreedt, zal bij geleidelijk opvoeren van de mediaanwaartse kracht de intensiteit van de fluweelachtige toon geleidelijk stijgen.

b. Heeft men eenmaal de laagste borsttoon bereikt en vermindert men geleidelijk de mediaanwaartse kracht dan zal de borsttoon blijven totdat de mediaanwaartse kracht nul is geworden. Het is dus niet zo, dat automatisch weer de fluweelachtige toon optreedt.

IV. a en IV. b kan men demonstreren aan de hand van het volgende voorbeeld; preparaat S 13153, ♂ 65 jaar:

Bij flow 1 atm ( $65 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ) en trekkracht nul g) wordt de mediaanwaartse kracht geleidelijk opgevoerd, uitgaande van de nulwaarde.

1. Bij mediaanwaartse kracht nul mm Hg treedt een fluweelachtige toon op: 114 Hz bij Ps  $2\frac{1}{2}$  cm  $\text{H}_2\text{O}$ . De intensiteit van de toon is klein.

2. Bij mediaanwaartse kracht 5 mm Hg (60 g) is de toon nog fluweelachtig: 114 Hz bij Ps 3-cm  $\text{H}_2\text{O}$ . De intensiteit van de toon is iets gestegen.



3. Bij mediaanwaartse kracht van 10 mm Hg (127 g) treedt *plotseling* een borsttoon op: 85 Hz bij Ps  $6\frac{1}{2}$  cm H<sub>2</sub>O. De intensiteit van de borsttoon is aanmerkelijk groter dan die van de beide fluweelachtige tonen (1 en 2).

4. Bij mediaanwaartse kracht 20 mm Hg (277 g) hoort men een borsttoon van hogere frequentie: 91 Hz bij Ps 8 cm H<sub>2</sub>O. De intensiteit is groter dan bij 3.

5. Bij mediaanwaartse kracht 25 mm Hg (360 g) zijn de intensiteit en de frequentie opnieuw gestegen: 102 Hz bij Ps 10 cm H<sub>2</sub>O.

Verminderen wij nude mediaanwaartse kracht, dan blijft de toon het karakter van de borsttoon aanhouden, zelfs als de mediaanwaartse kracht nul mm Hg is geworden.

6. Bij mediaanwaartse kracht 15 mm Hg (197 g) bedraagt de frequentie 91 Hz en de Ps 8+ cm H<sub>2</sub>O.

7. Bij mediaanwaartse kracht 10 mm Hg (127 g) is de frequentie 88 Hz en de Ps 8- cm H<sub>2</sub>O.

8. Bij mediaanwaartse kracht 5 mm Hg (60 g) is de frequentie 85 Hz en de Ps 7-cm H<sub>2</sub>O.

9. Wordt geen mediaanwaartse kracht uitgeoefend, dan bedraagt de frequentie 78 Hz en de Ps 5 cm H<sub>2</sub>O. De toon heeft nog steeds het karakter van een borsttoon.

V. Bij hogere flows 3-6 atm (190-380 cm<sup>3</sup>/sec) zal de begintoon minder duidelijk van fluweelachtig karakter zijn. Men hoort echter wel duidelijk, dat het van "fijner" karakter is dan de later optredende luidere, grovere en lagere borsttonen (voorbeeld: S 13153 B I 3, 4, 5, 6 curven, zie tabellen 12, 14, 16, 18).

VI. De fluweelachtige toon is niet op te wekken bij alle preparaten.

Bij 5 van de 16 hierop gecontroleerde preparaten is beslist *geen* fluweelachtige toon te krijgen. Wij krijgen de indruk, dat dit laatste, behalve met de eigen aard van het preparaat ook samenhangt met de instelling van de pincetpunten.

Voorbeeld: Bij preparaat S 13153 kan men bij alle flows een fluweelachtig respectievelijk fijne toon krijgen. Als de pincetpunten echter niet symmetrisch of niet op de juiste diepte liggen, is het zelfs bij de lagere flows niet mogelijk een fluweelachtige toon te verkrijgen.



V. 3. RESULTATEN EN BESPREKING VAN DE WAARNEMINGEN BIJ BORST- EN LAGERE MIDDENTONEN.

- V. 3. 1. a. Bij de borsttonen bewegen de stemplooien met grotere amplituden dan bij de middentonen.  
 b. Op pag. 60 is reeds als hypothese gesteld, dat als regel de stemspleet bij de borsttonen groter is dan bij de middentonen; dit laatste kan echter door stroboscopische waarneming slechts kwalitatief worden bevestigd. Met behulp van de stroboscopische delta f-film was het mogelijk dit te bevestigen.

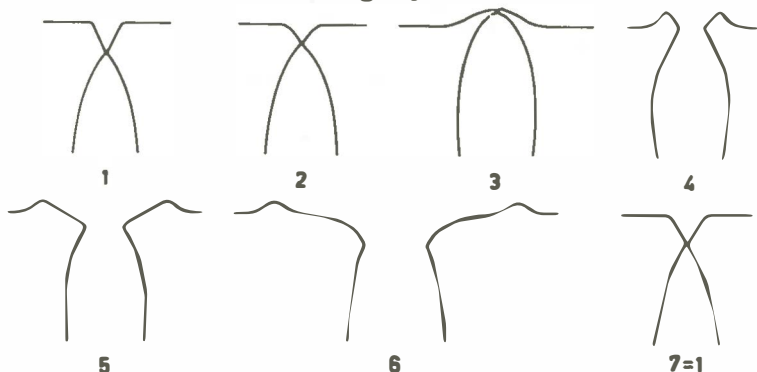


Fig. 62. Het bewegingspatroon van de stemplooien (schematisch). Achtereenvolgens treden de fasen 1, 2, 3 ..... 7 op. Fase 7 is weer het begin van de bewegingscyclus. Verklaring: zie tekst.

- V. 3. 2. *Het bewegingspatroon van de stemplooien bij de borsttonen en lage middentonen (fig. 62)*
1. Het eerst raken de mediale oppervlakken van de stemplooien elkaar op een niveau iets onder het craniaal (= boven) oppervlak van de stemplooien. De eerste contactplaats bevindt zich steeds in het gebied van het ligamentum vocale (fase 1).
  2. Dan plant de golf zich craniaalwaarts voort langs het mediaal oppervlak (fase 2). Ondertussen zorgt de Ps er voor, dat het deel van de stemplooien onder het contactniveau lateraalwaarts gedrukt wordt.
  3. Als de golf bij de stemplooirand is aangeland, zal deze mediocraniaalwaarts opbollen (fase 3).
  4. Dan plant de golf zich lateraalwaarts voort langs het craniaal oppervlak (fasen 4, 5, 6).
  5. Tegen de tijd, dat de golf lateraalwaarts weggeëbd is, raken de mediale oppervlakken elkaar weer op een niveau onder het craniaal oppervlak van de stemplooien (fase 7). Dit is dan weer het begin van de cyclus (fase 1).

6. De amplituden van de bewegende stemplooien zijn het grootst bij de lage borsttonen. Van fase 1 af tot en met fase 3 hebben de stemplooien contact met elkaar; de stemspleet is gedurende deze tijd gesloten ("sluitingsfase"). Onmiddellijk nadat fase 3 is ingetreden tot het moment, dat fase 7 bereikt wordt, is de stemspleet open ("openingsfase").

Ad 1 tot en met 6.

Ook bij de BELL film van 1940 staat vermeld, hetgeen wij in de punten 1 tot en met 6 hebben geconstateerd: "At the lowest pitches . . . . . vibration takes place throughout a considerable depth, from above down toward the trachea. Assuming the closed position of the cycle, the opening appears to begin from underneath, toward the trachea, progressing upward and outward. In other words, there exists a phase-difference between different vertical positions".

VAN DEN BERG (1958) merkt hierover het volgende op: "This phase difference (The glottis opens from beneath to above and closes in the same direction, at least with the expiratory voice) is due to the fact, that the vocal ligamentum is not stretched in the low pitches of the chest voice, permitting large deformation and large amplitudes of the vocal folds. These large deformations are further possible on account of the fact that the fibres of the vocal muscle can shift somewhat with respect to each other, and by the looseness of the upper surface of the vocal folds. This explains the occurrence of rapid wavelike motion or ripples, which are seen to pass over the top surface after the opening and closure of the glottis".

De volgende opmerkingen zijn nog vermeldenswaard:

1. Van bovenaf gezien merkt men, dat de golfbeweging als regel begint in het anteromediale deel van de stemplooien. Op het craniaal oppervlak zal de golfbeweging zich dan in principe optwee wijzen kunnen voortplanten: in dorsolaterale richting of in ventrolaterale richting.

Bij 13 van de 20 hierop gecontroleerde preparaten zien wij de eerste wijze van voortplanten van de golfbeweging.

Uit de BELL-film en andere films blijkt ook, dat er faseverschil is tussen de verschillende delen van de stemplooien in sagittale richting. VAN DEN BERG (1958) wijt dit aan "an unequal distribution of mass and stiffness along the cords".

2. De *massa* van de stemplooi en de *rand* van de

stemplooi maken een typische bewegingscyclus. De bewegingen van massa en rand van de stemplooien zijn het duidelijkst waarneembaar bij de laagste borsttonen.

a. Beweging van de *massa* van de stemplooi (fig. 62).

Terwijl de golf zich langs het mediaal oppervlak craniaalwaarts voortplant, maakt de stemplooi een caudomediaalwaarts gerichte beweging (adductiebeweging) (fasen 1 en 2). Terwijl de golf zich langs het craniaal oppervlak lateraalwaarts voortplant, maakt de stemplooi een craniolateraalwaarts gerichte beweging (abductie beweging) (fasen 4, 5, 6).

De massa van de stemplooi maakt dus afwisselend een caudomediaalwaartse en craniolateraalwaartse beweging (de mediaal-lateraalwaartse component overweegt).

b. Beweging van de *rand* van de stemplooi:

De stemplooirand maakt een combinatie van twee bewegingen. Behalve een afwisselend mediaal-lateraalwaartse beweging ("sluitingsfase" en "openingsfase") maakt zij een afwisselend craniaal-caudaalwaartse beweging. De stemplooiranden maken namelijk afwisselend een mediocraniaalwaartse (3) en laterocaudaalwaartse beweging (fasen 5, 6) (dus de caudaal-craniaalwaartse component overweegt),

c. Tijdens één bewegingscyclus zien wij de massa en de rand van de stemplooien in *chronologische volgorde* de volgende bewegingen uitvoeren:

1. De *massa* van de stemplooi beweegt caudomediaalwaarts (fase 1).
2. De *rand* van de stemplooi beweegt mediocraniaalwaarts (fase 3).
3. De *rand* van de stemplooi beweegt laterocaudaalwaarts (fasen 5 en 6).
4. De *massa* van de stemplooi beweegt craniolateraalwaarts (fase 6).

Daarna begint de cyclus opnieuw bij 1.

De *rand* van de stemplooi blijft ook in het *falsetregister* afwisselend een mediocraniaalwaartse en laterocaudaalwaartse beweging uitvoeren. De bewegingen van de *massa* van de stemplooi veranderen echter van caudomediaalwaarts - craniolateraalwaarts bij borsttonen in laterocaudaalwaarts - mediocraniaalwaarts bij de falsettonen. De golf reikt nu minder ver lateraalwaarts op het craniaal oppervlak.

Nu volgen enkele opmerkingen over het eerste contactniveau tussen de stemplooien.

1. Het niveau van eerste contact tussen de stemplooiën blijft altijd beperkt tot het gebied van het ligamentum vocale (verg. pag. 139, pag. 102 en fig. 42). Als de twee ligamenta vocalia ongeveer evenhoog staan, geldt dit voor beide zijden.

2. Deze eerste contactplaats blijkt te verschuiven en wel afhankelijk van de amplituden. Het niveauverschuift caudaalwaarts respectievelijk craniaalwaarts, als de amplituden groter respectievelijk kleiner worden, afhankelijk van de toonhoogte.

3. Bij uitzondering ligt het eerste contactniveau aan één kant niet in het gebied van het ligamentum vocale.

Voorbeeld: Preparaat S 13454, ♂ 59 jaar, vertoont een anomalie. Aan de linker kant bestaat het ligamentum vocale uit twee banden boven elkaar; de lagere gelegen band ligt onder het niveau van de onderrand van het rechter ligamentum vocale (dat dus normaal uit één band bestaat). De eerste contactplaats bevindt zich bij de laagste borsttonen in het gebied van de lagere linker ligamentum vocale band. Het tegenovergelegen zachtere weefsel van de rechter kant wordt ook aangezogen (BERNOULLI-effect).

Uit deze waarneming blijkt, dat het eerste contactniveau zich bij uitzondering onder het gebied van het ligamentum vocale bevindt (bij onze proef aan de rechter kant). Voor de linker kant blijft echter gelden, dat bij de laagste borsttonen dit niveau zich houdt aan het gebied van het ligamentum vocale; in dit geval het gebied van de lagere band.

Bij dit abnormale preparaat worden de tonen, waarbij het eerste contactniveau overeenkomt met het gebied tussen de twee banden (links), toch niet slecht geproduceerd, omdat de (enige) rechter ligamentum vocale band nu de leiding overneemt (verg. III. 3.2 conclusie 2). Ook nu weer houdt de eerste contactplaats zich aan het gebied van het ligamentum vocale, bij deze tonen het gebied van de enige rechter ligamentum vocale band.

Bernoulli-effect: Dat ter hoogte van de stemspleet de stemplooiën aangezogen worden, kunnen wij verklaren met behulp van de vergelijking van Bernoulli.

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{constant}$$

$p$  = statische druk (in dyne per  $\text{cm}^2$  wandoppervlak).  
 $\rho$  = dichtheid per  $\text{cm}^3$  (in g per  $\text{cm}^3$  lucht).  
 $v$  = snelheid van de luchtstroom (in  $\text{cm}$  per sec).

De energie, die een bepaalde hoeveelheid lucht (bijv. 1  $\text{cm}^3$ ) bezit is op alle niveaus constant en is evenredig met  $p + \frac{1}{2}\rho v^2$ .  $p$  is de statische druk, dit is de druk, die de lucht loodrecht op de wand uitoefent.  $\frac{1}{2}\rho v^2$  is de kinetische druk, die het gevolg is van de kinetische energie van de lichtdeeltjes. De som van de statische druk ( $p$ ) en de kinetische druk ( $\frac{1}{2}\rho v^2$ ) is dus constant. Ter plaatse van een vernauwing (stemspleet), is de snelheid

van de luchtstroom groot en zal dus de druk  $p$  klein of negatief zijn. Van-  
daar dat de stemplooien ter hoogte van de stemspleet worden aangezogen.  
Het Bernoulli-effect kan worden gedemonstreerd aan een model van Van  
den Berg. (ig. 63).

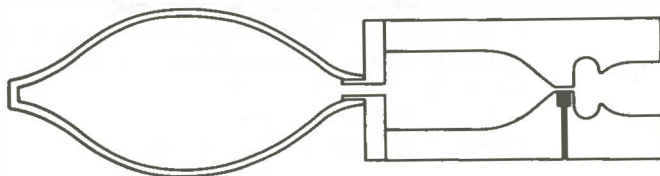


Fig. 63. Schema van een plexiglas model van de larynx, ter demonstratie van het Bernoulli-effect in de glottis. Het kleine gearceerde gebied stelt een balkje koper voor. Wordt met behulp van de ballon lucht door de "larynx" geblazen, dan ontstaat een negatieve druk in de "glottis", waardoor het balkje tegen de zwaartekracht in wordt opgetild.

Dit bijzondere preparaat zou nate bootsen zijn door een dunne platte pees (of een dunne platte reep peesweefsel) caudaal van een ligamentum vocale, submuqueus vast te hechten. Men verwacht bij een dergelijk apparaat, dat de laagste borsttonen lager liggen dan tevoren het geval is bij het onbewerkte normale preparaat. Immers bij de laagste borsttonen zullen de amplituden groter zijn dan normaal en zal de eerste contactplaats zich verder caudaal bevinden dan tevoren het geval is geweest.

- V.3.3. Bij de borsttonen en lage middentonen is de stemspleettijdens de sluitingsfase dicht. Dit verschijnsel is waar te nemen bij al onze preparaten.
- V.3.4. Veranderingen in het bewegingsmechanisme van de stemplooien tijdens het opvoeren van de toonhoogte bij borst- en lagere middentonen, door opvoeren van de mediaanwaartse kracht.
  1. Het bewegende deel van de stemplooien wordt korter. Een steeds groter stuk van het weefsel, craniaal van de processus vocalis valt uit. Het uitvallende dorsale deel wordt steeds langer.
  2. De eerste contactplaats tussen de stemplooien schuift craniaalwaarts op langs het mediale oppervlak van de stemplooien, als de toonhoogte opgevoerd wordt. Steeds blijft deze plaats zich echter bevinden in het gebied van het ligamentum vocale.
  3. De stemplooirand zal minder craniaalwaarts opbollen, naarmate de toon hoger is.
  4. Zoals gezegd plant de golf zich op het craniale oppervlak lateraalwaarts voort. Bij een hogere toon:

- zijn de golven in verticale richting kleiner (amplitudo in cranio-caudale richting is kleiner).

- reiken de golven minder lateraalwaarts. De golven ebben dus eerder weg en het punt van uitgang van de cyclus wordt eerder bereikt.

5. De massa van de rand van de stemplooi voert in principe dezelfde bewegingen uit als boven omschreven (pag. 140 en 141). Met het opvoeren van de toonhoogte zullen echter de amplituden van de bewegingen van massa en rand afnemen.

6. Door het opvoeren van de toonhoogte zal de sluitingsfase korter worden (de absolute tijd gedurende welke de stemplooien elkaar raken, wordt korter).

De opmerkingen 5 en 6 gelden voor alle 3 registers.

Bij de lage *borsttonen* ziet men duidelijk een snelle *sluiting* van de stemspleet. Bij de lage *middentonen* ziet men een snelle *opening* van de stemspleet.

Bij zeer nauwkeurige stroboscopische waarneming valt het volgende op bij opvoeren van de toonhoogte door vergroten van de mediaanwaartse kracht. Het onderstaande geldt voor alle drie registers:

7. Het punt van maximale amplituden blijft tijdens het opvoeren van de toonhoogte achter het midden tussen het uiteinde van de processus vocalis ende voorste stemplooiaanhechting.

8. Tijdens het proces van het opvoeren van de toonhoogte in alle drie registers rijzen nog de volgende twee vragen:

a. Verschuift het punt van maximale amplitude steeds meer naar voren?

b. Wordt het bewegende deel van de stemplooien steeds korter?

De verschijnselen onder 8a en 8b genoemd hangen met elkaar samen: Zolang opvoeren van de mediaanwaartse kracht nog resulteert in het vergroten van het aanrakingsoppervlak tussen de mediale oppervlakken van de processus vocales, zal het punt van de maximale amplituden naar voren verschuiven en zal het bewegende deel van de stemplooien korter worden.

Als door het opvoeren van de mediaanwaartse kracht het bovenbedoelde aanrakingsoppervlak niet meer vergroot wordt, zal het punt van maximale amplituden niet meer naar voren verschuiven en zal het bewegende deel van de stemplooien niet meer korter worden.

De beide vragen kunnen voor de borsttonen dus bevestigend en voor de falsettonen ontkennend worden

beantwoord. De overgang zal ergens in het midden-register plaats vinden.

V. 4. RESULTATEN EN BESPREKING VAN DE WAARNEMINGEN BIJ HOGERE MID-DEN- EN FALSETTONEN.

V. 4. 1. a. Bij de middentonen bewegen de stemplooien met grotere amplituden dan bij de falsettonen.  
b. De hypothese, gesteld op pagina 60, dat de *gemiddelde stemspleetopening* in de volgorde falsettonen, middentonen, borsttonen groter wordt, wordt slechts kwalitatief bevestigd door stroboscopische waarneming. Dit is wel te bevestigen door middel van de stroboscopische delta f-film.

V. 4. 2. Bij de falsettonen doet het weefsel craniaal van de *processus vocalis* *niet* mee; dit verschijnsel blijkt bij al onze preparaten. Dit geldt van het ogenblik af, dat door uitsluitend opvoeren van de mediaanwaartse kracht, de toonhoogte *niet* meer stijgt.

V. 4. 3. Veranderingen in het bewegingsmechanisme tijdens opvoeren van de toonhoogte bij hogere middentonen en falsettonen.

1. Dezelfde veranderingen, die bij V. 3. 4. onder punten 2, 3, 4, 5, 7 genoemd zijn, treden ook nu op.

2. Voert men bij een bepaalde mediaanwaartse kracht de trekkracht op en worden hogere middentonen en falsettonen geproduceerd, dan zal als regel de grootte van de mediaanwaartse kracht diè waarden hebben bereikt, waarbij door opvoeren van de trekkracht, het aanrakingsoppervlak tussen de mediale oppervlakken van de *processi vocales* niet meer groter wordt.

De 2 vragen gesteld onder V. 3. 4. punt 8 kunnen nu ontkennend worden beantwoord.

3. Hoe groter de trekkracht, hoe meer de golven zich zuiver lateraalwaarts voortplanten. Wij hebben reeds tevoren opgemerkt (verg. V. 3. 2), dat bij de borsttonen en de lagere middentonen, de golven op het craniale oppervlak zich óf in dorsolaterale richting of in ventrolaterale richting voortplanten. Bij opvoeren van de trekkracht ziet men in beide gevallen, dat de golfrichting steeds meer de zuivere laterale benadert.

V. 4. 4. Is bij *falsettonen* de stemspleet tijdens de sluitingsfase inderdaad gesloten?

1. Bij 16 van de 22 preparaten blijft de glottis ook



tijdens de "sluitingsfase" open. Dit verschijnsel blijkt onafhankelijk van de grootte van de mediaanwaartse kracht en onafhankelijk van de grootte van de trekkracht.

Voorbeeld: preparaat S 13310, ♂ 72 jaar. Zelfs bij mediaanwaartse kracht 33 mm Hg (495 g) en trek 300 g is de stemspleet nog net open tijdens de sluitingsfase.

Wel blijkt bij opvoeren van de mediaanwaartse kracht, dat de stemspleet tijdens de sluitingsfase steeds nauwer wordt. De glottis blijft echter onder alle omstandigheden tijdens de "sluitingsfase" open.

2. Bij andere preparaten is de stemspleet *juist dicht* tijdens de sluitingsfase. Ook dit verschijnsel blijkt onafhankelijk van de grootte van de mediaanwaartse kracht en de grootte van de trekkracht.

Voorbeeld: preparaat S 13200, ♂ 66 jaar.

Bij opvoeren van de trekkracht in combinatie met:

a. mediaanwaartse kracht 14 mm Hg (182 g) is de stemspleet nog juist dicht tijdens de sluitingsfase.

b. mediaanwaartse kracht 10 mm Hg (127 g) is de stemspleet nog juist dicht tijdens de sluitingsfase.

3. a. Als de *stemspleet open* blijft, zal bij opvoeren van de trekkracht blijken, dat de randen van de stemplooiën elkaar "steeds minder" raken. De minimale wijde van de stemspleet wordt steeds kleiner. Ook is te zien, dat de amplituden steeds kleiner worden.

b. Als de *stemspleet juist dicht* is, zal bij opvoeren van de trekkracht de sluitingsfase korter worden.

In beide gevallen 3a en 3b zien wij dus, dat de stemspleet meer open blijft.



## SAMENVATTING

In dit proefschrift worden experimenten met uitgesneden menselijke larynxpreparaten besproken. De volgende vragen worden gesteld: Onder welke (fysiologische) omstandigheden worden de borst-, midden- en falsettonen voortgebracht? Wat is het karakteristieke van het bewegingsmechanisme onder deze verschillende omstandigheden?

Een betere kennis omtrent het onderlinge verband tussen: flow, op de processus vocales uitgeoefende mediaanwaartse kracht, op de thyreoïdhoek uitgeoefende trekkracht, gemiddelde subglottische druk en frequentie is niet alleen theoretisch, maar ook praktisch van belang, in het bijzonder voor de interpretatie van pathologische stemvorming. (De grootheden worden in de bovengenoemde volgorde als volgt afgekort: Fl, Mwk, T, Ps, Fr).

*Hoofdstuk I* is een kort historisch overzicht. De nadruk wordt gelegd op de zeer waardevolle proeven van JOHANNES MÜLLER (1840).

*Hoofdstuk II* geeft een beschrijving van het voorbereiden en prepareren van de larynx en van de proefopstelling. De beste resultaten worden verkregen als het larynxpreparaat 12-24 uur vóór de aanvang van de eerste proef en tussen de proevenreeksen door gedompeld wordt in  $\frac{3}{4}$  N fysiologische zoutoplossing.

Voordelen van de methode zijn de volgende:

1. Denagebootste omstandigheden zijn zeer gemakkelijk constant te houden gedurende langere tijd. De voortgebrachte tonen zijn zuiver en zeer constant, waardoor het bewegingsmechanisme van de stemplooien zeer nauwkeurig kan worden bestudeerd.
2. Het is mogelijk slechts één factor tegelijk te veranderen, terwijl de andere factoren constant worden gehouden. De bovengenoemde factoren kunnen alle exact worden ingesteld en/of gemeten.
3. Met het larynxpreparaat kunnen meer tonen worden geproduceerd dan in de regel door de levende mens kan worden voortgebracht.
4. Met behulp van stroboscopische belichting en delta f-generator (ontwerp: VAN DEN BERG) is het mogelijk de verandering van het bewegingsmechanisme te blijven observeren, terwijl één factor of verschillende factoren tegelijk, geleidelijk worden veranderd.

In *hoofdstuk III* worden de resultaten van proeven besproken, waarbij het onderlinge verband wordt nagegaan tussen: flow, op de processus vocales uitgeoefende mediaanwaartse kracht,

op de thyreoidhoek uitgeoefende trekkracht, gemiddelde subglottische druk en frequentie. Bovendien wordt gelet op verandering van klankkleur, die als regel optreedt bij de overgang naar een ander register.

De belangrijkste conclusies zijn:

1. Toonsprongen en registerovergangen zijn in wezen gelijk. Een registerovergang treedt op tussen 2 tonen van verschillende registers. Een definitie van het begrip toonsprong en registerovergang vindt men vermeld onder III.2.1. punt 3e.

2. De effectieve wijde van de stemspleet is bij een hogere toon als regel kleiner dan die bij een lagere toon; een uitzondering op deze regel vormen de tonen voor en na een toonsprong of registerovergang.

3. Bijdeborst- en lagere middentonen, die worden verkregen door bij een zekere Mwk en  $T = 0$  g, de Fl op te voeren van  $65-380 \text{ cm}^3/\text{sec}$ , blijkt het onderlinge verband tussen Fl, Ps en Fr te bestaan uit lineaire trajecten. Tussen deze trajecten treedt een toonsprong of registerovergang op.

4. Bij de hogere midden- en falsettonen, die worden verkregen door bij een bepaalde Mwk (als regel 127 g) en een bepaalde T de Fl op te voeren van  $65-380 \text{ cm}^3/\text{sec}$ , blijkt het onderlinge verband tussen Fl, Ps en Fr eveneens te bestaan uit rechte gedeelten. Tussen de rechte gedeelten treedt een toonsprong of registerovergang op.

5. Wordt bij eenzelfde flow en  $T = 0$  g de Mwk opgevoerd, dan zal de frequentie geleidelijk stijgen en worden borst- en lagere middentonen voortgebracht.

a. De Mwk-Fr curven bestaan in principe uit een vloeiend verloop beginnend met de convexiteit naar links-boven, gevolgd door een rechte gedeelte, dat tenslotte horizontaal zal verlopen.

b. De Mwk-Ps curven bestaan in principe uit overeenkomstige stukken als de Mwk-Fr curven.

c. De Ps-Fr curven bestaan uit één of meer rechte gedeelten.

6. Wordt bij dezelfde Fl en matige Mwk (als regel 127 g) de T geleidelijk opgevoerd van 0-300 g, dan zal de frequentie stijgen en worden hogere midden- en falsettonen geproduceerd.

Er blijkt verband te bestaan tussen het verloop van de curven, die het onderlinge verband tussen T, Ps en Fr grafisch voorstellen en de mate van niveauverschil tussen de stemplooien. (Het niveauverschil blijkt alleen zichtbaar te zijn tijdens geluidsproductie).

a. De T-Fr curve bij afwezigheid van niveauverschil tussen de stemplooien bestaat uit 2 delen: een lineair beginstuk, gevolgd door een vloeiend verloopende lijn, die met een steeds flauwere helling naar rechts omhoog verloopt.

Het eerste deel van de curve omvat hogere middentonen en

komt overeen met de rekbare toestand van het ligamentum vocale (stemplooi). Het tweede deel van de curve, waarbij falsettonen worden voortgebracht, komt overeen met de onrekbare toestand van het ligamentum vocale (stemplooi). Op de overgang van de rekbare naar de onrekbare toestand kan een registerovergang optreden.

Ingeval van niveauverschil zal één van de stemplooiën meer gespannen zijn. Er wordt aangetoond, dat de meer gespannen stemplooi de leiding heeft bij de geluidsproductie.

b. Bij gering niveauverschil zien wij, dat de T-Fr curve in principe uit dezelfde 2 delen bestaat als bij a. Beide delen lopen nu steiler omhoog dan de overeenkomstige delen van de curve bij afwezigheid van niveauverschil. Dit steiler verloop van beide delen van de curve is het gevolg van het feit, dat de meer gespannen stemplooi de leiding heeft.

c. Bij groot niveauverschil tussen de stemplooiën is het verband tussen T en Fr lineair; dit kunnen wij niet verklaren.

Om het verloop van de T-Ps curven en de Ps-Fr curven te begrijpen, vragen wij ons af welke factoren een rol spelen op de Ps bij opvoeren van de trekkracht.

Bij afwezigheid van niveauverschil zullen 2 factoren een rol spelen op de Ps: 1. stemspleetverlenging (Ps-daling) en 2. (horizontale) stemspleetvernauwing (Ps-stijging). Daar de invloed van factor 2 > factor 1, zal bij opvoeren van de T de Ps in het algemeen stijgen.

Ingeval van niveauverschil (gering en groot niveauverschil) zal, behalve de 2 genoemde factoren (1. stemspleetverlenging en 2. horizontale stemspleetvernauwing), nog een derde factor een rol spelen op de Ps: 3. verticale stemspleetverwijding (Ps-daling).

Hoe groter het niveauverschil, hoe groter de invloed van de derde factor is. Bij *gering* niveauverschil zal factor 2 > factor 1 + factor 3; bij opvoeren van de trekkracht zal dus Ps-stijging optreden, echter in geringere mate dan bij afwezigheid van niveauverschil het geval is. Bij *groot* niveauverschil zal factor 2 < factor 1 + factor 3; bij opvoeren van de trekkracht zal de Ps dus dalen.

Uit het bovenstaande kan het verloop van de T-Ps curven en Ps-Fr curven worden begrepen bij afwezigheid van niveauverschil, gering en groot niveauverschil.

a. Bij afwezigheid van niveauverschil bestaat de T-Ps curve uit een rechtlijnig beginstuk, gevolgd door een vloeiend verloopend deel. Bij de overgang tussen de 2 delen kan een registerovergang optreden (tussen de hogere middentonen en falsettonen).

b. Bij gering niveauverschil bestaat de T-Ps curve in principe uit dezelfde 2 delen als bij a. Er zijn echter verschillen: - het rechtlijnige beginstuk helt minder omhoog.

- het vloeiend verlopende deel van de curve buigt bij de hoge trekwaarden omlaag.

c. Bij groot niveauverschil bestaat de T-Ps curve uit een rechte lijn, die naar rechts omlaag helt. Voor dit rechtlijnige verband kunnen wij geen verklaring geven.

Het verband tussen de mate van niveauverschil en het verloop van de Ps-Fr curven wordt nagegaan.

a. Bij afwezigheid van niveauverschil bestaat de curve in principe uit een rechte lijn; de lijn loopt naar rechts omhoog.

b. Bij gering niveauverschil bestaat de curve uit een vloeiend omhoog verlopende lijn met de convexiteit naar rechts-onder.

c. Bij groot niveauverschil is de curve rechtlijnig, de rechte lijn loopt naar links omhoog.

7. Om een beter inzicht te krijgen in het wezenlijke van de registerovergang wordt een onrekbare draad in één stemplooirand aangebracht. De resultaten geven de volgende conclusies:

a. Voor de productie van falsettonen is de spanning van de rand van de stemplooi essentieel. Is deze spanning groter dan een bepaalde (lage) waarde, dan worden falsettonen geproduceerd. In vivo ontstaat de spanning in de stemplooirand door contractie van de musculus cricothyreoideus. Hierdoor wordt het ligamentum vocale, dat juist door de rand van de stemplooi loopt, gespannen.

b. De stemplooi beïnvloeden elkaar over en weer. (Deze "interne koppeling van de larynx" is voor het eerst in 1953 op theoretische gronden aangenomen door VAN DEN BERG). De stemplooi met de grootste spanning is minder gedempt en de invloed, die van deze stemplooi op de andere overgaat, is groter dan omgekeerd het geval is. De stemplooi met de grootste randspanning heeft de leiding bij de geluidsproductie.

8. Het fluitregister.

De conclusie is, dat de fluittonen in vivo ontstaan bij de volgende combinatie van omstandigheden: kleine flow, ontspannen musculus cricothyreoideus, ontspannen musculus vocalis, matige contractie van de muscoli arytaenoidei en lichte adductiestand van de arytenoiden.

Het blijkt bij onze proeven, dat fluittonen het best hoorbaar zijn bij kleine flow van  $65-83 \text{ cm}^3/\text{sec}$ . Bij een kleinere flow zal de fluittoon geleidelijk aan ophouden; bij een grotere flow komt er geruis bij.

In hoofdstuk IV wordt het verband tussen de registers en de eigenschappen van het ligamentum vocale nagegaan. De functie van het ligamentum vocale wordt behandeld. De methode van de rekproef wordt besproken.

De belangrijkste bevindingen zijn.

1. Het ligamentum vocale doorstaat belastingen, die ver uitgaan boven de maximale krachten, die spierweefsel in contractie kan opbrengen ( $50 \text{ g per mm}^2$ ).

2. De aanhechtingen van de ligamenta vocalia blijken als regel minder rekweerstand te bezitten dan het ligamentum vocale zelf.

3. Als regel treden grote verschillen in rekbaarheid van de 2 ligamentavocalia op; dit geldt eveneens voor de stemplooien.

Het rechter ligamentum vocale heeft als regel een grotere doorsnee en is als regel meer rekbaar dan het linker ligamentum vocale.

De linker stemplooi speelt bij de geluidsproductie een overheersende rol. Een verband met het spraakcentrum van BROCA wordt verworpen.

4. Zeer waarschijnlijk bestaat in het algemeen verband tussen rekdiagram enerzijds en relatieve hoeveelheid en verloop van de elastische en collagene vezels anderzijds. Dit wordt nagegaan bij verschillende soorten weefsels: kattenpees, vena femoralis, vena cava inferior, aorta abdominalis en ook voor de ligamenta vocalia van een 21 jarige en 72 jarige.

5. Dank zij het elastisch-collagene systeem van het ligamentum vocale is geen energie nodig om de rustlengte te herkrijgen. De collagene vezels van het ligamentum vocale zijn van belang voor de productie van falsettonen. Een deel van de elastische vezels speelt een rol bij defixatie van het ligamentum vocale aan de onderlaag.

6. Op hoge leeftijd verlopen de elastische vezels van het ligamentum vocale als regel in lengterichting. In verband met de fixatie van het ligamentum vocale op de onderlaag (musculus vocalis) en voor het behoud van het ligamentum vocale zelf is het een gelukkige omstandigheid, dat men op hoge leeftijd geen zeer hoge tonen meer kan voortbrengen.

In hoofdstuk V worden de stroboscopische waarnemingen van de stemplooibewegingen, onder zoveel mogelijk fysiologische omstandigheden, besproken. De belangrijkste bevindingen zijn:

1. Een dubbeltoon kan optreden bij alle 3 registers. Treedt bij een zeer bepaalde combinatie van Fl, Mwk en T een dubbeltoon op, dan blijkt de lagere frequentie, respectievelijk hogere frequentie, overeen te komen met de bewegingsfrequentie van de massa, respectievelijk rand van de stemplooien.

2. Bij de borsttonen beweegt de gehele stemplooi mee, dus ook het gedeelte craniaal van de processus vocales. Hoe lager de borsttoon, hoe beter dit verschijnsel is waar te nemen.

Bij de falsettonen beweegt het weefsel craniaal van de processus vocales niet mee; dit verschijnsel treedt op bij alle preparaten.

3. De productie van de laagste borsttonen is niet mogelijk als men voorkomt, dat het weefsel, craniaal van één of beide processus vocales meebeweegt.

4. Bij enkele preparaten hoort men, als men de Mwk zeer

geleidelijk opvoert, uitgaande van de nulwaarde, dat voorafgaand aan de fysiologisch laagste borsttonen, een tijdlang fluweelachtige tonen worden geproduceerd.

De overgang van fluweelachtige toon naar borsttoon treedt plotseling op en is op te vatten als een bijzonder soort registerovergang. Er wordt gewezen op de verschillen in het bewegingspatroon van de stemplooien bij de 2 soorten tonen.

5. In de volgorde borst-, midden-, falsettoon ziet men, dat de stemplooien met steeds kleinere amplituden bewegen.

De hypothese bij hoofdstuk III gesteld, dat in de volgorde borst-, midden-, falsettoon de effectieve breedte van de stemspleet kleiner wordt, kan met de stroboscopische delta f-film worden bevestigd.

6. Het "trillen" van de stemplooien is een zeer gecompliceerde beweging. Het eerst raken de mediale oppervlakken van de stemplooien elkaar op een niveau iets onder het craniale oppervlak van de stemplooien, in het gebied van het ligamentum vocale. Vervolgens planten de golven zich langs de mediale en craniale oppervlakken van de stemplooien voort, terwijl ondertussen de Ps er voor zorgt, dat het deel van de stemplooien onder het contactniveau weer lateraalwaarts gedrukt wordt. Tegen de tijd dat de golf lateraalwaarts weggeëbd is, raken de mediale oppervlakken van de stemplooien elkaar opnieuw ter hoogte van het eerste contactniveau en het proces herhaalt zich.

7. Het niveau van het eerste contact tussen de stemplooien blijft beperkt tot het gebied van het ligamentum vocale. Als de 2 ligamenta vocalia evenhoog staan, geldt dit voor beide zijden.

8. Bij de borsttonen en lagere middentonen is de stemspleet tijdens de sluitingsfase dicht. Dit verschijnsel is waar te nemen bij alle preparaten.

Bij de falsettonen is de stemspleet tijdens de "sluitingsfase" open of dicht; dit wisselt van preparaat tot preparaat. Het eerste blijkt het geval te zijn bij 16 van de 22 hierop onderzochte preparaten. Het verschijnsel blijkt onafhankelijk van de grootte van Mwk en T.



## SUMMARY.

In this thesis experiments with excised human larynxes are described. The following problems are put forward: Under which (physiological) conditions are the chest-, mid- and falsetto voices produced? What is characteristic of the mechanism of motion under varying conditions?

A better knowledge of the relation between: flow, force on the vocal processes in median direction, pull on the thyreoidnotch, mean subglottic pressure and frequency is of theoretical as well as practical importance, particularly for the interpretation of the pathological voice production. (The different quantities will be abbreviated in the order mentioned above as follows: Fl, Mwk, T, Ps, Fr).

*Chapter I* gives a short historic survey, with special emphasis on the very valuable experiments of JOHANNES MÜLLER (1840).

In *chapter II* the preparation of the larynx and of the experimental set-up is described. Best results are obtained by immersion of the larynx preparation in  $\frac{3}{4}$ N physiological salt-solution 12-24 hours before the beginning of the first experiment and between series of experiments.

The advantages of this method are:

1. The simulated conditions are very easily kept constant during a long period. The tones produced are pure and very constant, hence the mechanism of motion of the vocal folds can be carefully examined.
2. It is possible to change one factor at a time, while keeping the other factors constant. The factors mentioned can all be adjusted and/or measured precisely.
3. With the larynxes more tones can be produced than is generally possible in human beings.
4. With the help of stroboscopic light and a delta f-generator (designed by VAN DEN BERG) it is possible to keep observing the change in the mechanism of motion, while one factor or several factors at once are gradually changed.

*Chapter III* deals with the experimental results of a study of the relation between: flow, force on the vocal processes in median direction, pull on the thyreoidnotch, mean subglottic pressure and frequency. The change of timbre, which usually accompanies a transition to another register, is also noted.

The main conclusions are:

1. In relaty tone-jumps and transitions of register are identical. A transition of register occurs between 2 tones of different register. A definition of the concept of tone-jumps and transitions of register may be found in III. 2. 1. sub 3e.

2. The effective width of the vocal fold is usually smaller for a higher tone than for a lower one. An exception to this rule are the tones before or after a tone -jump or transition of register.

3. For the chest- and lower mid-voice, obtained at fixed Mwk and  $T = 0$  g by increasing Fl from 65-380 cm<sup>3</sup>/sec, the relation between Fl, Ps and Fr consists of linear regions, between which tone-jumps or transitions of register occur.

4. For the higher mid- and falsetto voice, obtained at fixed Mwk (as a rule 127 g) and a fixed T by increasing Fl from 65-380 cm<sup>3</sup>/sec the relation between Fl, Ps and Fr also consists of linear regions, between which tone-jumps or transitions of register occur.

5. If at a constant flow and  $T = 0$  g the Mwk is increased, the frequency will gradually rise and chest- and lower mid-voices will be produced.

a. The Mwk vs Fr curves are convex to the left for low Mwk; if Mwk increases, they approach more and more a horizontal straight line.

b. The Mwk vs Ps curves in principle consist of parts corresponding with those of the Mwk vs Fr curves.

c. The Ps vs Fr curves consist of one or more straight sections.

6. If at a constant Fl and moderate Mwk (usually 127 g) T is increased from 0-300 g, the frequency will increase and higher mid- and falsetto voices will be produced.

It turns out that the curves representing the interdependence between T, Ps and Fr are related to the difference of level of the vocal folds. (This difference of level is only visible during production of sound).

a. In the absence of a difference of level between the vocal folds the T vs Fr curve consists of 2 parts: first a linear part, followed by a smoothly curving part running up to the right with a progressively smaller slope. The first part of the curve comprises the higher mid-voice and corresponds to the elastic condition of the vocal ligament (vocal fold). The second part of the curve, where the falsetto voice is produced corresponds to the inelastic state of the vocal fold. A transition of register may occur at the point where the transition of the elastic state into the inelastic state occurs.

If there is a difference of level one of the vocal folds will have a higher tension than the other. It is shown that the tensor vocal fold predominates in the production of sound.

b. It is observed that the T vs Fr curve for a small difference of level in principle consists of the same two parts as in a. Both parts now have a higher slope than the corresponding parts of the curve obtained when there is no difference of level. This is caused by the fact that the tensor vocal fold predominates.



c. For a large difference of level between the vocal folds the relation between T and Fr is linear; we cannot explain this.

In order to understand the trends of the T vs Ps and Ps vs Fr curves, we ask ourselves what factors influence Ps when the pull is increased.

In the absence of a difference of level 2 factors influence Ps: 1. lengthening of the glottis (decrease of Ps) and 2 (horizontal) narrowing of the glottis (increase of Ps). As the influence of factor 2 is larger than that of factor 1, Ps will in general rise if T is increased.

If there is a difference of level (small or large), apart from the 2 factors mentioned above (1. lengthening and 2. horizontal narrowing of the glottis), a third factor will influence Ps: 3. vertical widening of the glottis (Ps decreases).

The influence of the third factor increases with the difference of level. For a *small* difference of level factor 2 has a larger influence than factors 1 and 3 together; thus when the pull is increased, Ps will rise, although in a lesser degree than when there is no difference of level. For a *large* difference of level factor 2 will be smaller than factors 1 and 3 together; Ps will decrease when the pull is increased.

From the above the shapes of the T vs Ps and Ps vs Fr curves can be understood for zero, small and large differences of level.

a. If there is no difference of level the T vs Ps curve consists of a linear part, followed by a smoothly curving part. In the transition region a transition of register may occur (between the higher mid-voice and the falsetto voice).

b. For a small difference of level the T vs Ps curve in principle consists of the same 2 parts as in a. There are however some differences:

- the linear part has a lower slope.
- the smoothly curved part of the plot goes down at high values of pull.

c. For a large difference of level the T vs Ps curve is a straight line, sloping down to the right. We cannot explain the linear relation.

The relation between difference of level and the Ps vs Fr curves is studied.

a. In the absence of difference of level the curve in principle is a straight line, going up to the right.

b. For a small difference of level the curve consists of a smoothly curved line convex to bottom right.

c. For a large difference of level the curve is a straight line rising to the left.

7. In order to gain a better insight into the essence of a transition of register, an inelastic thread is introduced into one edge of a vocal fold. The results lead to the following conclusions:

a. For the production of a falsetto voice the tension of the edge of the vocal fold is essential. When the tension is greater than a certain (low) value, the falsetto voice is produced. In vivo this tension of the edge of the vocal fold results from contraction of the musculus cricothyreoideus. This causes a tightening of the vocal ligament which traverses the edge of the vocal fold.

b. The vocal folds influence each other. (This "internal coupling" of the larynx has first been supposed on theoretical grounds by VAN DEN BERG in 1953). The vocal fold with the higher tension is less muted and the influence of this fold on the other is greater than reversely. The vocal fold with the higher tension of the edge predominates in the production of sound.

#### 8. The flageolet register.

We have come to the conclusion that the flageolet voice in vivo originates from the following set of circumstances; small flow, relaxed musculus cricothyreoideus, relaxed musculus vocalis, moderate contraction of the muscoli arytaenoidei and slightly adducted position of the arytenoids.

Our experiments show that the flageolet voice can be heard for flows from 65-83 cm<sup>3</sup>/sec. For an even smaller flow it will gradually cease; for a larger flow noise is added to it.

In chapter IV the relation between the registers and the properties of the vocal ligament is investigated. The function of the vocal ligament is treated. The method of the stretching experiment is dealt with.

The most important findings are:

1. The vocal ligament withstands stresses far exceeding the maximum forces of which muscular tissue is capable in contraction (50 g/mm<sup>2</sup>).
2. The attachments of the vocal ligaments as a rule show a smaller resistance to stretching than the vocal ligament itself.
3. Large differences in elasticity of the 2 vocal ligaments usually occur; this also is true for the vocal folds.

The right vocal ligament as a rule has a larger cross-section and is more elastic than the left.

The left vocal fold predominates in the production of sound. A connection with BROCA'S centre of speech is rejected.

4. In general there very probably is a connection between the elasticity curve on the one hand and the relative quantity and course of the elastic and collagenous fibres on the other hand. This is studied for different kinds of tissue: cat's tendon, vena femoralis, vena cava inferior, aorta abdominalis, as well as for the vocal ligaments of a 21-year-old and a 72-year-old.
5. Because of the elastic-collagenous structure of the vocal ligament no energy is required for the length at rest to be regained. The collagenous fibres of the vocal ligament are

important for generating the falsetto voice. Part of the elastic fibres are involved in fixing the vocal ligament to the substratum.

6. In old age the elastic fibres of the vocal ligament as a rule run longitudinally. In view of the attachment of the vocal ligament to the substratum and for the preservation of the vocal ligament itself it is fortunately impossible to produce very high-pitched tones in old age.

In *chapter V* the stroboscopic observations of the movements of the vocal folds are discussed under conditions that are as much as possible physiological. The main results are:

1. A double tone may occur for all 3 registers. If for a certain combination of F1, Mwk and T a double tone occurs, it turns out that the lower and higher frequencies correspond with the frequencies of motion of the bulk or the edge of the vocal folds, respectively.

2. With the chest voice the whole vocal fold is in motion, also the part cranial with respect to the *processus vocalis*. The deeper the chest voice, the easier it is to observe this phenomenon.

With the falsetto voice the tissue cranial with respect to the *processus vocalis* is not in motion. This is true for all preparations.

3. The *deepest* chest voice cannot be generated if movements of the tissue cranial with respect to one or both vocal processes are prevented.

4. If Mwk is gradually increased from a value zero, velvety tones are produced in some preparations before the physiologically deepest chest voice starts.

The transition from the velvety tone to the chest voice occurs suddenly; it may be interpreted as a special kind of register transition. The differences in the pattern of motion exhibited by the vocal folds for the two kinds of tones are pointed out.

5. In the sequence chest-, mid- and falsetto voice the vocal folds vibrate with successively smaller amplitudes.

The hypothesis of *chapter III* viz. that the effective width of the glottis decreases according to this sequence has been confirmed by the stroboscopic delta f-film.

6. The vibrations of the vocal folds are very complicated. First the median surfaces of the vocal folds touch on a level slightly below the cranial surface, in the region of the vocal ligament. Then the waves are propagated along the median and cranial surfaces, during which Ps again pushes the part of the vocal folds below the contact level in a lateral direction. Towards the time the wave had died out laterally, the median surfaces of the vocal folds touch again at the level of first contact and the process is repeated.

7. The level of first contact between the vocal folds is restricted to the region of the vocal ligament. When the 2 vocal ligaments are at the same level, this applies to both.

8. With the chest- and lower mid-voice the glottis is shut during the period of closure. This is observed for all preparations.

For the falsetto voice the glottis may be either open or shut during the "period of closure"; this varies for the different specimens. The first appears to be the case for 16 out of 22 preparations investigated for this phenomenon, which proves to be independent of Mwk and T.

## LITERATUUR

- VAN DEN BERG, Jw. (1953), *Physica van de stemvorming, met toepassingen*, dissertatie Groningen.
- VAN DEN BERG, Jw. (1954), Über die Koppelung bei der Stimmbildung, *Zeitschr. f. Phonetik u. allgem. Sprachwissenschaft*, **8**, 281.
- VAN DEN BERG, Jw. (1956), Physiology and physics of voice production, *Acta physiol. pharm. néerl.*, **5**, 40.
- VAN DEN BERG, Jw. (1956), Direct and indirect determination of the mean subglottic pressure, *Folia Phoniatr.*, **8**, 1.
- VAN DEN BERG, Jw. (1957), Physiologie et physique de la vibration des cordes vocales, *Larynx et phonation*, Paris, Presses universitaires de France.
- VAN DEN BERG, Jw. (1957), Subglottic pressures and vibrations of the vocal folds, (remarks on a high-speed film of Piquet, Decroix and Libersa), *Folia Phoniatr.*, **9**, 65.
- VAN DEN BERG, Jw. (1957), Experiments on the vocal mechanism with air and a mixture of 80 percent hydrogen and 20 percent oxygen, in which the velocity of the sound is about two times as high as normal. Voordracht tijdens International Voice Conference, Chicago, May.
- VAN DEN BERG, Jw. J. T. ZANTEMA and P. DOORNENBAL Jr. (1957), On the air resistance and the Bernoulli-effect of the human larynx, *J. acoust. soc. Amer.*, **29**, 626.
- VAN DEN BERG, Jw. (1958), Myoelastic-aerodynamic theory of voice production, *Journal of speech and hearing research*, **1**, 227.
- VAN DEN BERG, Jw. (1959), A delta f-generator and movie-adaptor unit for laryngostroboscopy, *Pract. oto-rhino-laryng.*, **21**, 355.
- VAN DEN BERG, Jw., D. BURGER and T. S. TAN (1959), Laryngeal vibrational patterns, (Stroboscopic delta f-motion pictures).
- VAN DEN BERG, Jw. and T. S. TAN (1959), Results of experiments of human larynxes. *Pract. oto-rhino-laryng.*, **21**, 425.
- DRAPER, M.H., PETER LADEFOGED and D. WHITTERIDGE (1959), Respiratory muscles in speech, *Journal of speech and hearing research*, **2**, 16.
- DUNKER, E. und B. SCHLOSSHAUER, (1958), Über Anspannung und Schwingungsform der Stimmlippen, *Arch. Ohr-, Nas- u. Kehlk.-Heilk.*, **173**, 497.
- FERREIN, A. (1741), De la formation de la voix de l'homme, *Mem. de l'acad. d. sc.*, Paris. p. 431.
- GUTZMANN, H. (1909), *Physiologie der Stimme und Sprache*, Braunschweig, Friedrich Vieweg.

- GUTZMANN, H. und A. LOEWY (1920), Über den intrapulmonalen Druck und den Luftverbrauch bei der normalen Atmung, bei phonetischen Vorgängen und bei der expiratorischen Dyspnoe, Pflügers Arch. ges. Physiol., **180.**, 111.
- HARTMANN, W. (1938), Zur Frage der Bewegungsform der Stimm lippen, Nach Versuchen mit zweifacher Schattenschrift, Arch. Sprach- u. Stimmheilk., **2**, 133.
- LISCOVIUS, K.F.S. (1814), Theorie der Stimme, Leipzig.
- MAYET, A. (1955), Zur funktionellen Anatomie der menschlichen Stimm lippe, Z. anat., **119**, 87.
- MÜLLER, Joh. (1840), Handb. der Physiol. des Menschen, Bd. 2, Buch 4, Abschn. 3, S. 133, Von der Stimme und Sprache, Coblenz, Hölscher.
- SCHILLING, R. (1925), Untersuchungen über die Atembewegungen beim Sprechen und Singen, Teil IV: Die Druckverhältnisse im menschlichen Windrohr, Monatsschrift f. Ohrenheilk. u. Lar.-Rhin., **59**, 643.
- STEINBERG, J.C., D. W. FRANSWORTH and H. J. SMITH (1940), High-speed motion pictures of the human vocal cords. Bureau of publication, Bell teleph. Lab.